MEMORIAL DE INGENIEROS.

MEMORIAL
DE INGENIEROS
DEL EJÉRCITO.

COLECCIÓN DE MEMORIAS.

CUARTA ÉPOCA.—TOMO IX.

(XLVII DE LA PUBLICACIÓN.)

Año 1892.

MADRID
IMPRENTA DEL MEMORIAL DE INGENIEROS.
1892

ÍNDICE

DE LAS OBRAS SUELTAS QUE COMPRENDEN LAS ENTREGAS

DEL

MEMORIAL DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO

publicadas en el año de 1892.

COMISIÓN EN EL EXTRANJERO

EN

1890.

CUERPO DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO.

MEMORIA

DE LA

COMISIÓN EN EL EXTRANJERO

DESEMPEÑADA

POR EL CORONEL, TENIENTE CORONEL,

DON JOSÉ MARVÁ Y MAYER

Y EL CAPITÁN

DON ANTONIO MAYANDÍA Y GÓMEZ

EN

1890.

MADRID
Imprenta del «Memorial de Ingenieros»
—
1892

Por Real orden de 6 de Agosto de 1890 fuimos comisionados, por dos meses, para presenciar las experiencias de artillería y cúpulas que la Grusonwerk había de realizar en Buckau-Magdeburgo (Alemania) en la primera quincena de Septiembre del citado año, y para estudiar cuanto digno de atención encontrásemos referente á fortificación, servicio y material de las tropas de Ingenieros. De las experiencias de la Grusonwerk ya hemos dado cuenta en la Memoria presentada á la Superioridad en Enero próximo pasado, y es el objeto de este escrito cumplimentar la soberana disposición, en lo que á la segunda parte de la comisión respecta.

Reconociendo la debilidad de nuestras fuerzas para llevar á feliz término la honrosa misión que se nos había encomendado, contábamos empero con nuestro vehemente deseo de suplir, en cuanto posible fuera, nuestra insuficiencia con nuestra voluntad, sin que se nos ocultasen, desde el primer momento, las dificultades que habíamos de encontrar, especialmente en lo que á la segunda parte de la comisión se refiere, pues si bien esperábamos que la Grusonwerk, como establecimiento industrial, había de suministrar graciosamente cuantos datos nos fuesen necesarios, porque esto era una consecuencia lógica de la invitación dirigida á todas las naciones para que comisiones militares acudiesen á presenciar las experiencias anunciadas, y porque en sus intereses entraba hacer ver la excelencia de los productos que fabrica, abrigábamos el temor de que las noticias relativas á fortificación, organización y material de las tropas habían de sernos escatimadas, no solamente por razo-

nes de prudente reserva, sino por el exagerado misterio de que se rodea á estos asuntos en el extranjero. La experiencia acreditó más tarde la exactitud de nuestro pensamiento.

Era nuestro propósito visitar, á nuestro paso para Alemania, los establecimientos militares de las inmediaciones de Paris, acudir á seguida á las experiencias de Magdeburgo, permanecer después en Alemania algún tiempo, y examinar á nuestro regreso las fortificaciones que erigen los belgas en el Mosa, y los renombrados establecimientos de Krupp y el Creusot, en los que se fabrica excelente material de guerra. Este proyecto hubo de experimentar algunas modificaciones, unas por efecto de las circunstancias y otras en obedecimiento de órdenes recibidas.

Llegados á Paris á fines de Agosto, tuvimos noticia de que las experiencias de Magdeburgo no tendrían lugar hasta el 21 de Septiembre, y este aplazamiento nos movió á visitar, antes de esta fecha, á Dinamarca, porque sabíamos que en la capital de este pequeño Estado se hacían obras importantes de fortificación, y que el material de ingenieros, calcado sobre el alemán, había sido minuciosa y concienzudamente estudiado y modificado ventajosamente en muchos detalles.

Terminada nuestra expedición á Dinamarca, nos trasladamos á Magdeburgo y asistimos á las experiencias que se realizaron. Allí tuvimos el honor de hablar con el General Brialmont, y el sentimiento de saber, por él, que había dificultades insuperables para obtener del Gobierno belga autorización para visitar los fuertes en construcción de Namur y de Lieja. Conceptuamos de insuperables las dificultades, porque, según nos dijo el eminente General, era preciso, si queríamos conseguir nuestro objeto, que el Gobierno español dictase órdenes á fin de que los oficiales belgas pudiesen á su vez visitar nuestras plazas fuertes, construidas y en construcción, en justa correspondencia; y ni lo delicado del asunto, ni las circunstancias de tiempo y lugar en que nos hallábamos, permitían abordar siquiera esta solución. En cambio nos manifestó que no existían los mismos inconvenientes para el logro de nuestro deseo por lo que á la plaza de Amberes se refería; pero siendo ésta suficientemente conocida, no aceptamos sus galantes ofrecimientos y mediación, pues lo que para nosotros ofrecía interés eran ciertos detalles de organización y construcción que solamente en los fuertes del Mosa, aún no terminados, hubiéramos podido estudiar.

Terminada nuestra misión en Magdeburgo nos trasladamos á Berlin, y ayudados en nuestras gestiones de investigación por el Agregado militar español, Comandante de Artillería D. Francisco Ferrer, que nos prestó su valiosa cooperaclón, permanecimos allí hasta que se nos ordenó acudir al Creusot para presenciar las experiencias de cúpulas que, anunciadas para los primeros días del mes de Octubre, no tuvieron lugar hasta el 21 de dicho mes.

Pudimos, al regresar de Berlin, haber visitado la fábrica de Krupp, aunque el tiempo de que disponíamos era muy escaso; pero las referencias que de este establecimiento oimos á oficiales españoles y de otras naciones en Magdeburgo, nos decidieron á prescindir de dicha visita, en vista de la imposibilidad de observar con alguna detención los talleres más importantes de esta renombrada fábrica, en la cual, mas que en otra alguna, se lleva á la exageración la reserva y el misterio, convencidos de que no habíamos de poder alcanzar más noticias que las escasas consignadas por E. Monthaye en su libro *Krupp et De Bange*, y por otros folletos y publicaciones técnicas.

El trabajo que como resultado de nuestra comisión tenemos el honor de presentar, es, seguramente, inferior al que cualquiera de nuestros compañeros hubiese producido. Cúlpese en primer término á nuestra insuficiencia, á la escasez de tiempo disponible en cada uno de los lugares que hemos visitado y á las dificultades anejas á esta clase de cometidos, y sirva tan sólo en abono nuestro el buen deseo que ha guiado todas nuestras gestiones y nuestros constantes cuanto modestos trabajos.

Hubiéramos podido dar más extensión á alguna de las partes de la Memoria adjunta, especialmente á las que describen nuestra estancia en Dinamarca y Alemania; pero no nos ha sido posible hacerlo dado el plazo improrrogable y los recursos del presupuesto que para la redacción de aquella se nos han concedido, y el tiempo que hemos tenido que dedicar á atenciones del servicio y á otras comisiones que nos han sido encomendadas.

FRANCIA.

1. Conocedores por experiencia agena de la parsimonia con que en este país se procede al tramitar las autorizaciones de visitas á establecimientos militares, comprendimos que era imprescindible la mayor actividad para realizar el plan que nos habíamos propuesto en el corto período de dos meses, de los cuales uno había de ser casi por completo absorbido por los viajes y nuestra asistencia á las experiencias de la Grusonwerk. Gestiones preliminares.

En esta inteligencia, apenas llegamos á Paris el 24 de Agosto, no obstante ser día festivo y por lo tanto poco oportuno para hacer gestión alguna, después de haber llenado las formalidades á que era sometido todo viajero procedente de nuestro país á causa del estado sanitario de la Península, fuimos á visitar al Agregado militar de España, Comandante de Artillería, Sr. Alvear. Poco pudo hacer este jefe en nuestro obsequio, limitándose á dirigirnos al Canciller de la Embajada Sr. Rios y á aconsejarnos que se solicitara la autorización que deseábamos directamente del Ministerio de la Guerra y no por conducto del de Negocios extranjeros, por haber sido esto motivo en otros casos de dilaciones hasta de un mes, recomendación que seguimos con relativo éxito en este y en los demás países.

Al siguiente día verificamos nuestra presentación en la Embajada, donde expusimos el deseo de visitar los polígonos de Versalles, punto el más á propósito para poder apreciar la altura á que se encuentran los ingenieros franceses. El Canciller Sr. Rios quedó encargado de gestionar el permiso y á su actividad se debió la rápida realización de nuestro propósito, pues dos días más tarde recibíamos por su conducto la deseada autorización, ó mejor dicho, una órden del Ministro al General gober-

nador de Paris, documento que nosotros llevamos á la mano con el fin de ganar tiempo.

Aprovechamos el día anterior para ir á Petit-Bourg á visitar los talleres Decauville, de cuya visita damos cuenta en otro lugar.

En el Gobierno militar de Paris fuimos recibidos por el General jefe de Estado mayor, quien nos dispensó una afable acogida, dedicando lisonjeras frases á nuestro ejército, que conocía por haber tomado parte en la expedición á Méjico. Dijo que oficiaría al Coronel Marcille del 5.° regimiento de Zapadores-Ferroviarios y al Coronel Bouvier, que manda el 1.° de Zapadores-Minadores, ambos de guarnición en Versalles; quedó convenido que iríamos á esta población el día 29, y después de conversar un largo rato con los oficiales de Ingenieros afectos al Estado mayor, nos retiramos.

Llegada á Versalles

2. Salimos de Paris á las nueve de la mañana del referido día por el ferrocarril de la orilla derecha, llegando á Versalles treinta y cinco minutos más tarde, dispuestos á dedicar un día entero á visitar los trabajos del 5.° regimiento de Zapadores-Ferroviarios, y en el siguiente los del 1.er regimiento de Zapadores-Minadores.

Después de nuestra visita de cortesía á las autoridades militares de Versalles, nos dirigimos al cuartel en busca del Coronel Marcille. Allí quedó concertado el plan para aquel día. El Capitán Guillot (el obligado sin duda para estos casos, pues él fué quien acompañó también al General Aparici el año anterior), fué nombrado para conducirnos á los polígonos en el breek del regimiento. A nuestro regreso nos presentamos al Coronel Bouvier en el cuartel de Grandes écuries, donde se aloja su regimiento, y éste nos designó al Capitán Barbé por guía en nuestra expedición del día siguiente.

3. Nada diremos del acuartelamiento por ser sobradamente conocido de nuestros compañeros, y antes de entrar en la descripción de lo que tuvimos ocasión de ver en los polígonos, expondremos á la ligera la organización del Cuerpo de Ingenieros francés, las reglas para la instrucción y su material, no sin dejar también antes sentado, por lo que pudiera convenir á los que nos sigan en el desempeño de comisiones de esta índole, que la acogida de que fuimos objeto por parte de los oficiales franceses, con ser en extremo cortés y atenta, careció de esa cordialidad

que predispone á la expansión y que hubiéramos podido explotar, facilitándose nuestro cometido. Así vimos, tanto á nuestros guías como á los demás jefes y oficiales con quienes alternamos, muy finos con nosotros y hasta afectuosos, pero reservados en cuanto se relaciona con nuestra profesión. Dejábase notar que al enseñarnos sus trabajos y su material obedecían una orden superior, para cuyo cumplimiento quizás tuvieran instrucciones reservadas.

El primer día observamos cierta tendencia á desviarnos de los puntos en que ellos se figuraban había alguna novedad para nosotros, escatimaban en todo los detalles, y á no haber sido nosotros convenientemente instruidos de cuanto había en Versalles, por nuestros estudios preliminares y más aún por la conversación sostenida dos días antes con los oficiales de Ingenieros del Gobierno militar de Paris, hubiéramos regresado sin haber visto más que unas cuantas vulgaridades, como algunas obras de tierra, material de vía, los pelotones de corrección y la instrucción de batallón, ejecutada con uniformidad, pero sin el aire marcial de nuestros soldados. Afortunadamente nuestra prudencia despejó su recelo y nuestras capciosidades produjeron el fruto que deseábamos, no sin que nos fuera preciso, cuando teníamos que anotar algunos detalles que no podíamos confiar á la memoria, entablar discusiones, á cuyo pretexto dejábamos estampado sobre un papel cualquiera el objeto de nuestras observaciones.

Organización del Cuerpo de Ingenieros.

4. A cada uno de los 19 cuerpos de ejército en que está dividido el ejército francés, está afecto un batallón de Zapadores-Minadores. Estos batallones se incorporan á sus respectivos cuerpos de ejército en casos de movilización ó para tomar parte en grandes maniobras. En tiempo de paz están reunidos para su instrucción en 4 regimientos.

1.er Regimiento.—De guarnición en Versalles. Consta de los batallones números 5, 9, 10 y 11.

2.º Regimiento.—En Montpellier. Comprende los batallones números 12, 16, 17, 18 y 19.

3.er Regimiento.—En Arras. Compuesto de los batallones números 1, 2, 3, 4 y 6.

4.º Regimiento.—En Grenoble. Con los batallones números 7, 8, 13, 14 y 15.

Además, en 1889 se organizó un regimiento de Zapadores-Ferroviarios con las compañías de Ferroviarios que tenían los regimientos de Zapadores-Minadores, con las de Depósito y con un batallón del 1.er regimiento, que hacía el número 20.

5.º Regimiento.—Zapadores-Ferroviarios. De guarnición en Versalles. Consta de 3 batallones.

El personal de jefes y oficiales que no pertenecen á los expresados regimientos, constituyen el Estado mayor de Ingenieros.

Regimientos de Zapadores-Minadores.

5. Como hemos indicado, el 1.er regimiento consta de 4 batallones y los otros tres de 5.

Cada batallón tiene 4 compañías, y hay, además, por regimiento, una de depósito y otra de Zapadores-Conductores. Con lo cual los regimientos se componen, además de la plana mayor, de 18 compañías el primero y de 22 los restantes.

La organización de cada compañía de Zapadores-Minadores es la siguiente:

EN TIEMPO DE PAZ.

1 Capitán Comandante (plaza montada).
1 Capitán de segunda clase.
2 Tenientes ó Subtenientes.
10 Sub-oficiales.
12 Cabos.
4 Obreros.
2 Cornetas.
80 Zapadores.

EN TIEMPO DE GUERRA.

1 Capitán Comandante. . . .
1 Capitán de segunda clase. } Plazas montadas.
3 Tenientes ó Subtenientes.

12 Sub-oficiales.
16 Cabos.
6 Obreros.
2 Cornetas.
172 Zapadores.

Las compañías de Depósito tienen la misma organización que la de Zapadores-Minadores en tiempo de paz, pero no hay en ellas Capitán segundo.

La oficialidad de las de reserva es igual á la de Zapadores en tiempo de paz.

Las compañías de Zapadores-Conductores constan de:

1 Capitán Comandante.
1 Capitán segundo.
2 Tenientes ó Subtenientes.
12 Sub-oficiales.
19 Cabos.
2 Maestros guarnicioneros.
1 Herrador.
2 Cornetas.
80 Zapadores-Conductores, con 80 caballos de silla y tiro, no estando comprendidos en este número los caballos de los oficiales, sub-oficiales y cornetas.

La fuerza total de un regimiento de 5 batallones asciende á 107 oficiales, 2591 indivíduos de tropa y 151 caballos.

En tiempo de guerra cada compañía, afecta á una división, lleva consigo 2 carros de parque con tiro de cuatro caballos, 2 para el transporte de material de mina, á lomo, y otros 4 carros para el transporte de víveres y bagajes, con un caballo. Cada soldado está, además, provisto de un útil.

Los carros de parque son idénticos en construcción y carga, para facilitar la separación de la compañía en dos grupos que puedan operar aisladamente siguiendo cada uno una división ó una brigada de infantería. Las figuras 1, 2, 3 y 4 de la lámina 1.ª, dan todos los detalles de construcción de estos carros, que pesan descargados 900 kilógramos y con su carga 1790 kilógramos.

La carga á lomo de los caballos consiste en 2 cajas (fig. 5, lám. 1.ª), conteniendo cada una 140 cartuchos de dinamita de 100 gramos, 70 petardos metálicos de 100 gramos de dinamita y 36 de 38 gramos, y la otra útiles de minador y cebos. La carga con el baste pesa cerca de 100 kilógramos.

Los carros de víveres son de dos modelos, 1867 y 1874. El primero está llamado á desaparecer por extinción, y el segundo, representado en la figura 6, lámina 1.ª, pesa 374 kilógramos, tiene una capacidad de 1,64 metros cúbicos y puede resistir una carga máxima de 550 kilógramos.

El parque de Ingenieros de cuerpo de ejército, consta de: 9 carros de útiles y material con tiro de 6 caballos, 7 del modelo representado en las figuras 7 y 8, lámina 1.ª, y 2 del modelo representado en las figuras 9 y 10, lámina 1.ª; un carro con cebos de dinamita (figs. 11 y 12, lámina 1.ª) y uno de fragua con tiro de 4 caballos (fig. 13, lám. 1.ª) A este parque se le asigna un destacamento de conductores compuesto de 3 sub-oficiales. 5 cabos, 1 corneta y 42 soldados.

El parque de Ingenieros, de ejército, se compone: de un Estado mayor, un destacamento de Zapadores y 66 carros: 47 de material de sitio y repuestos para el material de parque, 13 de material de puentes, 2 fraguas y 4 de víveres y material. El arrastre de estos carros está á cargo del tren de equipajes, que, como es sabido, constituye en Francia un cuerpo especial.

Durante la movilización de cada cuerpo de ejército se les destinan 3 compañías de Zapadores, una por cada división, con su parque, y otra con el parque de Ingenieros pasa á constituir la reserva de Ingenieros del cuerpo de ejército.

Al cuartel general va afecto un Estado mayor de Ingenieros compuesto de 4 oficiales.

La compañía no distribuida del batallón se destina al parque de ejército que presta sus servicios en las plazas fuertes.

En las divisiones de infantería y en las reservas de cuerpo de ejército desempeña las funciones de Comandante de Ingenieros un Comandante.

Un Capitán de Ingenieros forma parte del Estado mayor de la división de caballería independiente.

6. Consta de 3 batallones de 4 compañías y una compañía de Conductores. **Regimientos de Zapadores-Ferroviarios.**

La fuerza de una compañía en pié de paz es de 4 oficiales, y 160 individuos de tropa. La de Conductores tiene 3 oficiales y 77 individuos de tropa con 70 caballos.

La fuerza total del regimiento se compone de 63 oficiales, 485 suboficiales, 1550 soldados y 95 caballos.

El parque de una compañía ferroviaria consta de 12 carros de parque y 6 de víveres y bagajes. En la actualidad se estudia un parque circulable por vías férreas.

7. El Estado mayor particular de Ingenieros está formado por los jefes y oficiales que no prestan servicio en los regimientos. Consta de 33 Coroneles, 33 Tenientes coroneles, 124 Comandantes, 296 Capitanes y 570 empleados subalternos [illegible] oficiales. **Estado mayor de Ingenieros.**

Las Comandancias, en número de 39, están encargadas, como en nuestro país, de las fortificaciones y la construcción y entretenimiento de los edificios militares.

En las circunscripciones del 1.°, 6.°, 7.°, 14.° y 16.° cuerpo de ejército, las tropas y establecimientos del Cuerpo están bajo la inspección del Comandante general regional de Ingenieros. En Argelia y Paris existe también un Comandante general de Ingenieros.

8. Existen 18 batallones del ejército territorial, con una organización análoga á la de los batallones del ejército activo. Aquellos tienen un número correspondiente á la región á que pertenecen. **Ejército territorial.**

INSTRUCCIÓN.

9. El reglamento de 25 de Junio de 1885 prescribe todas las reglas para la instrucción de los regimientos de Ingenieros. Esta se divide en instrucción general ó de regimiento é instrucción especial ó de escuela.

La primera comprende la instrucción teórica y la práctica; una y otra armonizadas con los reglamentos de infantería.

10. La instrucción teórica se reduce al servicio interior de las tropas de infantería, maniobras de éstas, servicio de plazas, servicio de campa- **Instrucción teórica-general.**

ña, conservación y entretenimiento de las armas, instrucción de tiro, transporte de tropas en ferrocarril, carga y descarga del material y herramientas, contabilidad y legislación penal.

Tiene lugar durante el invierno, y cuando el mal tiempo impide en verano la instrucción práctica.

Instrucción práctica general.

11. La instrucción práctica comprende las maniobras de infantería, servicio en campaña, tiro al blanco, marchas y ejercicios de campamento, embarque de tropas en ferrocarril, esgrima, gimnasia, natación y equitación.

A la llegada de los reclutas, con el fin de acelerar la instrucción de los más aptos, se forma un pelotón especial de instrucción, llamado de aspirantes á cabo.

Con los cabos susceptibles de ascenso se forma tambien otro pelotón de aspirantes á sub-oficiales.

Los soldados voluntarios que saben leer, escribir y contar y revelan aptitudes especiales, forman otro pelotón de instrucción.

En el regimiento de Ferroviarios, la instrucción general se limita á la individual, de sección y compañía y á las evoluciones indispensables para la formación del batallón en paradas y revistas.

Instrucción especial.

12. Zapadores-Minadores.—En cada plaza donde existen tropas de Ingenieros está establecida una Escuela práctica para la instrucción de los oficiales y tropa.

El Coronel tiene la dirección superior de la Escuela; para todo lo referente á administración tiene las atribuciones de un Comandante general, es decir, él ordena los gastos y se comunica directamente con el Ministro.

Bajo las inmediatas órdenes del Coronel, un jefe de batallón, con el título de Comandante de la Escuela, tiene á su cargo la administración, la dirección de la instrucción especial teórica, la redacción de proyectos y la dirección de los trabajos, escepto de aquellos de que están encargados los jefes de batallón, bajo la inspección del Teniente coronel.

El Comandante de la Escuela es responsable del material y su empleo, así como de la conservación y entretenimiento de los parques.

Dos Capitanes están bajo las inmediatas órdenes del Comandante para secundarle en los detalles del servicio, é igualmente 3 profesores paisanos, cuyas plazas se proveen por concurso. Uno está encargado de

explicar la gramática, historia y geografía; otro de las ciencias matemáticas y físicas y otro del dibujo y topografía, corriendo también á su cargo el completar las colecciones de modelos.

Dos empleados subalternos de Ingenieros están afectos á la Escuela, dependiendo directamente del Comandante. Uno de ellos está encargado del material de la Escuela y del de los parques, y el segundo está empleado en la oficina, sirviendo de conserje de la biblioteca y del gabinete de modelos; también es responsable del mobiliario de las salas y en general de todo lo que concierne al material de Escuelas teóricas.

La instrucción especial, como la general, se divide en teórica y práctica.

13. La instrucción especial teórica comprende: Gramática, ciencias físicas y matemáticas, dibujo, fortificación y las diversas ramas del arte del Ingeniero, geografía y cosmografía é historia. Instrucción especial teórica.

Los cursos son obligatorios, pero el Coronel puede dispensar de ellos á los indivíduos que crea oportuno.

Cada año, el Comandante de la Escuela explica á los oficiales un curso de minas y otro de ataque y defensa de plazas. El Coronel puede dispensar de ellos á los oficiales que juzgue suficientemente instruídos, dando conocimiento al Inspector general.

El Coronel autoriza y estimula conferencias, en las cuales los oficiales de buena voluntad se propongan tratar asuntos de actualidad ó de interés para la profesión.

Anualmente los Tenientes redactan, según los documentos recogidos por ellos mismos en los reconocimientos militares que forman parte de la instrucción práctica, un trabajo topográfico.

Independientemente de este trabajo, que el Coronel puede dispensar, los oficiales escriben anualmente una memoria ó una traducción sobre un asunto militar elegido entre las publicaciones recientes de la prensa extranjera, añadiendo sus observaciones ó apreciaciones personales.

El Comandante examina estos trabajos, que remite informados al Coronel, y éste á su vez con su informe al Comandante general, el cual eleva al Ministro aquellos que considera dignos de recompensa ó castigo.

14. La instrucción especial práctica abarca cinco Escuelas distintas: Instrucción especial práctica.

Fortificación de campaña.

Zapas.

Minas.

Puentes.

Ferrocarriles.

Independientemente de estas cinco Escuelas, á las que asisten todos los indivíduos del regimiento sin excepción, la instrucción especial práctica comprende además otros ejercicios, en los cuales no toma parte todo el persona; tales son: la nomenclatura, carga y descarga del material y herramientas en los carros y á lomo, las materias explosivas, los levantamientos y la telegrafía óptica.

Como aplicación de estas Escuelas, la instrucción especial se completa con un simulacro de sitio de guerra subterránea y trabajos de ataque y defensa de posiciones fortificadas.

Las Escuelas prácticas generales están dirigidas por los jefes del batallón, bajo las órdenes del Teniente coronel. Se ejecutan por compañías, de modo que todos los hombres de una misma compañía trabajan juntos en los ejercicios de la misma Escuela, bajo la dirección de sus oficiales y sub-oficiales. Todas las compañías de un batallón se envían simultáneamente á la misma Escuela práctica.

Durante el trabajo cada compañía debe estar mandada por uno de sus Tenientes á lo menos.

El Capitán Comandante es responsable de la instrucción de sus subordinados; está secundado en la dirección y vigilancia de esta instrucción por el Capitán 2.°, el que también está especialmente encargado de la conservación de las herramientas y material entregados á la compañía por el almacén.

A la Escuela práctica concerniente á la nomenclatura y carga y descarga del material y herramientas en los carros y á lomo, asisten los sub-oficiales y cabos del regimiento, sin excepción, y además los obreros y soldados propuestos para el ascenso. Esta instrucción está á cargo de los oficiales de las respectivas compañías, dirigidos por los jefes de batallón.

A la Escuela de materias explosivas asisten igualmente un obrero por compañía, los sub-oficiales, cabos y soldados aspirantes á cabos; está tambien á cargo de los oficiales de las compañías.

A la de levantamientos sólo concurren los sargentos y los cabos elegidos por su aptitud.

La Escuela de telegrafía óptica tiene por objeto ejercitar un cierto número de sub-oficiales, cabos y zapadores en la maniobra de los aparatos. Está al frente de esta Escuela uno de los Capitanes afectos al Comandante de Escuela práctica, auxiliado por un Teniente y las clases necesarias.

Una compañía por cada uno de los cuatro regimientos está encargada de la instrucción del servicio de globos cautivos.

En tiempo de guerra se asigna un parque aerostático á cada ejército, cuerpo de ejército y plaza fuerte. El parque consta de 7 carros y 35 caballos, y á él se destinan 2 oficiales y 94 soldados. Los siete carros del parque son: uno con el torno y cable de 500 metros, uno con el globo, un generador de hidrógeno, tres de material y herramientas y uno de fragua.

Solo en casos excepcionales las tropas de Ingenieros prestan el servicio de guarnición.

No existe ningún soldado rebajado, como no sea para trabajar en las obras dependientes del servicio de Ingenieros de la plaza.

Las recompensas de la tropa consisten en hacer mención de los distinguidos en la orden del Cuerpo á fin de cada trimestre, constando sus nombres en un cuadro que se fija en un sitio visible de la Escuela práctica.

Los soldados, al pasar á la reserva, reciben del Coronel, si lo desean, un certificado de su grado de instrucción.

La instrucción de las compañías de conductores se efectúa con arreglo á los reglamentos vigentes para la caballería y el tren de transporte.

Las tropas de Ingenieros concurren á las maniobras de otoño de cuerpo de ejército. Se destinan tres compañías á cada cuerpo de ejército. En las maniobras de división no toman parte.

ZAPADORES FERROVIARIOS.—La instrucción especial práctica se lleva á cabo, según las prescripciones del Reglamento de 15 de mayo de 1888.

Da principio por compañías: instruidas éstas, trabajan uno ó más batallones reunidos, terminando con los ejercicios de todo el regimiento en cuanto se relaciona con el servicio de las redes de ferrocarriles en tiempo de guerra.

Un reducido número de oficiales, sub-oficiales y soldados se ejercita en el servicio de línea, en el administrativo, en el telegráfico y en la conducción de las locomotoras. A este efecto, un destacamento de ferroviarios presta el servicio de líneas y estaciones en el trozo de Orleans á Chartres, en unión del personal civil.

Organización militar de los ferrocarriles.

15. Según la ley de 28 de diciembre de 1888, en el acto de movilización, el servicio de los ferrocarriles pasa á la dependencia de la autoridad militar. El Ministro de la Guerra dispone de todas las líneas del interior, dependiendo las del teatro de operaciones del General en jefe del ejército.

El transporte se divide en ordinario y estratégico. El primero establece poca ó ninguna limitación en el tráfico del interior; el segundo se refiere al transporte de grandes masas de tropas y del material y aprovisionamiento de guerra.

El transporte estratégico se divide en transporte en la zona interior y transporte en la zona de los ejércitos. La zona interior es la que comprende los ferrocarriles que quedan bajo la dependencia del Ministro de la Guerra, y la zona de los ejércitos es la que comprende los ferrocarriles puestos á disposición del General en jefe.

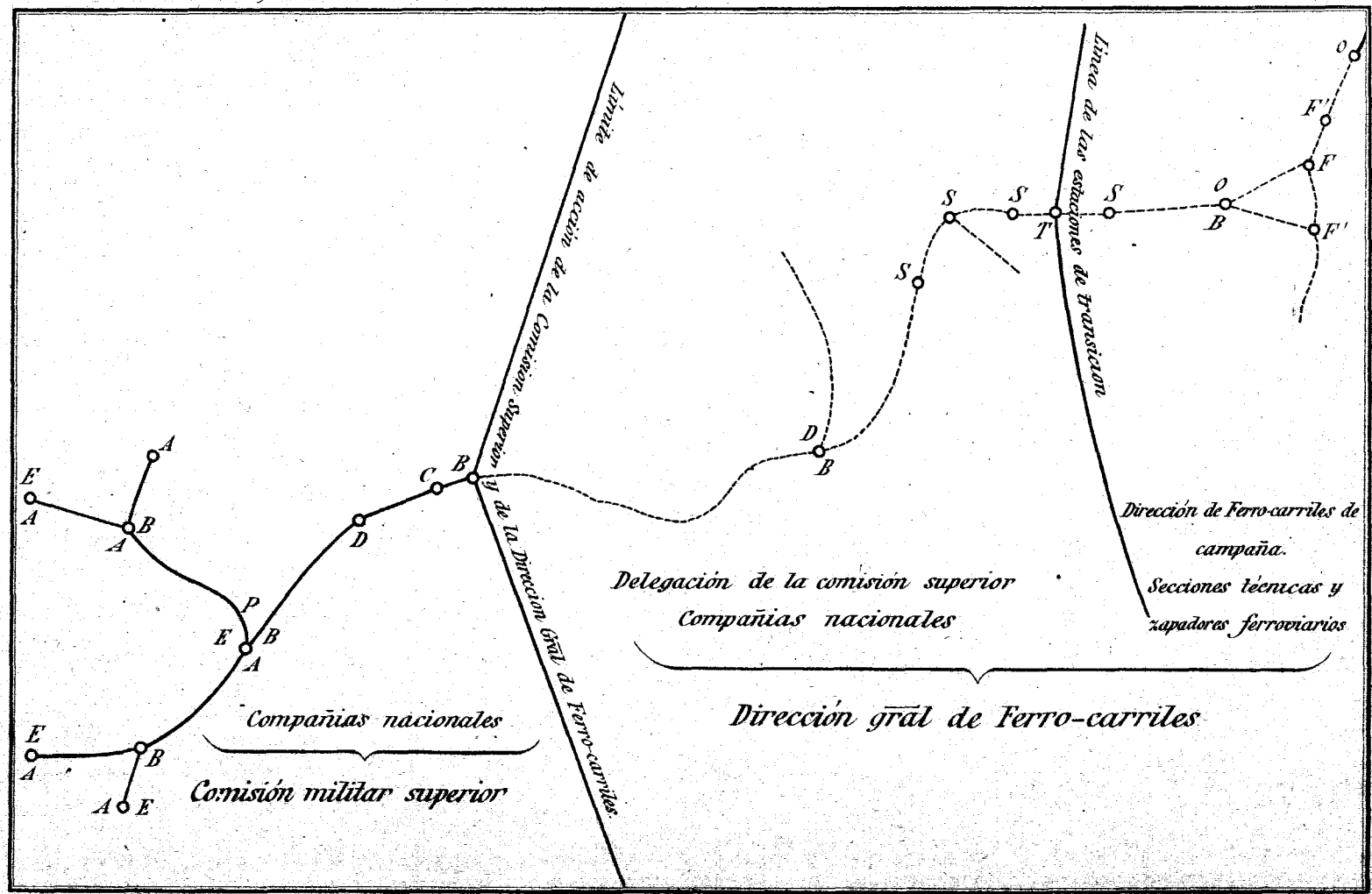
En el momento de la movilización el Ministro, prévia consulta con el General en jefe, determina la línea de demarcación, que puede variar durante el curso de las operaciones, según determina el Ministro en inteligencia con el General.

En tiempo de paz una Comisión—*Comisión militar superior de Ferrocarriles*—está encargada del exámen de proyectos y cuestiones relativas al empleo militar de los ferrocarriles, á los trabajos preparatorios para los transportes estratégicos por las nuevas vías, al conocimiento y distribución del material y al empleo de los ferroviarios. Esta Comisión se compone del Jefe de Estado mayor del Ministerio de la Guerra, como presidente; de un General nombrado Director de ferrocarriles, vicepresidente; cuatro Jefes y cinco empleados civiles; de éstos, tres son del Ministerio de Obras públicas y dos de las Comisiones de líneas.

La oficina del Estado mayor general *(4.e bureau)* está encargada de centralizar el servicio.

La ejecución y dirección del servicio de cada una de las seis empresas y la administración de los caminos de hierro del Estado, competen á las

Comisión en el extrangero en 1890



Pág. 21.

Comisiones de línea, compuestas de un representante de la empresa y de un jefe del ejército; el primero dirige particularmente el servicio técnico, y el segundo el servicio militar. Ambos tienen designado un suplente y el personal subalterno correspondiente.

Las Comisiones de línea vigilan la línea é inspeccionan el material é instrucción de los empleados y estudian los trabajos preparatorios para los transportes estratégicos.

En tiempo de guerra, en el acto de la movilización, como autoridad superior en todo lo referente al servicio de ferrocarriles, se organiza la *Dirección general de los servicios de retaguardia*, á cuya cabeza figura un General, que permanece constantemente afecto al cuartel general, estando en sus atribuciones la organización del servicio y la administración del territorio enemigo ocupado.

Afecto á cada ejército que opera por sí va un General, asesorado por un ingeniero, que dirige, bajo las órdenes del General, las cuestiones relativas al servicio ferroviario. De él depende la Comisión de línea y la *Comisión de ferrocarriles de campaña*, compuesta de un jefe militar y un ingeniero. Desde el primer día de la movilización la Comisión de línea asume la dirección del servicio de transportes en su jurisdicción, siendo ayudada por una ó varias sub-comisiones y disponiendo de la Comisión de estación, compuesta de un oficial y un jefe de estación. Las líneas férreas, á partir de la línea de demarcación, dependen de la Comisión de campaña, la cual dispone de las tropas de Ferroviarios.

En Argelia y Túnez existe una Comisión de línea, subordinada al Comandante del 19.º cuerpo de ejército.

La organización militar del servicio de ferrocarriles en paz y en guerra ha experimentado en Francia, durante estos últimos años, considerables perfeccionamientos, tanto desde el punto de vista militar como desde el técnico; perfeccionamientos encaminados á facilitar el movimiento de las grandes masas de tropa por las líneas, á su rápida concentración y á la seguridad del servicio en el teatro de operaciones.

El conjunto del servicio está clasificado del modo que indica la lámina adjunta.

A Comisión de estación de movilización.

E Idem de embarque.

Que se encargan de transportar las tropas á las estaciones de punto de partida de las etapas *P*.

C Comisión de estación depósito. En estas estaciones existen aprovisionamientos militares de todo género.

B Comisión de estación de bifurcación.

D Idem de id. de descansos. En estas estaciones las tropas reciben su rancho. Se dividen en varias clases, según que el abastecimiento se haga por la Administración militar ó por los pueblos. La alimentación de los enfermos y heridos corre por cuenta de la dirección del servicio sanitario.

S Comisión de estación de desembarco.

T Dirección de estaciones de transición.

F Idem de id. principales de etapa. Hay una por cada línea y pone al jefe en comunicación con un ejército.

F' Dirección de estación, anexa á las principales de etapa.

O Dirección de estación ordinaria.

De la seguridad de las líneas contra las operaciones estratégicas del enemigo responde el Estado mayor general, y contra las pequeñas fracciones de tropa enemiga ó los habitantes, la Dirección de etapa, que toma las oportunas disposiciones, y á este fin se mantiene siempre en relación con la autoridad ferroviaria.

Para el transporte de tropas, el número de carruajes de un tren militar no debe pasar de 50, no comprendida la locomotora ni el ténder. La velocidad media de los trenes es de 25 á 30 kilómetros por hora. Para el transporte de un cuerpo de ejército se forman de 100 á 110 trenes: sin la impedimenta bastan 60 á 65 trenes. Con un tren se puede transportar un batallón, un escuadrón ó una batería.

Para el servicio de las líneas en el teatro de operaciones, además del regimiento de Zapadores ferroviarios, están las *Secciones técnicas de obreros*, dependiendo igualmente de la Dirección de ferrocarriles de campaña.

Estas secciones, organizadas militarmente en tiempo de paz, son empleadas en tiempo de guerra como las tropas del 5.º regimiento, en el establecimiento, distribución y reparación de las líneas del teatro de operaciones. Se componen de ingenieros, empleados y obreros de ferrocarriles sujetos todavía al servicio militar.

El Ministro de la Guerra, en caso de movilización, fija el punto donde cada sección debe prestar sus servicios.

El Comandante de la sección tiene las mismas atribuciones que el jefe de una partida, y depende directamente de la Comisión de ferrocarriles de campaña.

El personal de cada sección está designado en tiempo de paz; y en tiempo de guerra, durante el llamamiento de cuantos están sujetos á la ley militar, son equipados militarmente. Sus uniformes y equipos son iguales á los de las tropas de Ingenieros.

Estas secciones pueden también ser llamadas en tiempo de paz para revistas y ejercicios. En el otoño de 1887 fué llamada para un período de trece días la cuarta sección.

Con el personal de las Compañías y con el de las líneas del Estado, se han formado nueve de estas secciones.

Cada sección técnica comprende el servicio central y tres divisiones: la primera, movimiento; la segunda, vía y obras, y la tercera, tracción.

El servicio central está constituido por un Director y 15 empleados, distribuidos en tres negociados: de la dirección, de contabilidad y de sanidad.

La división de movimiento consta de un jefe y 480 empleados; la de vía y obras, del jefe y de 484 empleados, y la de tracción, de 294.

En tiempo de paz las Compañías de ferrocarriles constituyen las secciones del modo siguiente:

1.ª	sección.	Compañía de Paris, Lion y el Mediterráneo.
2.ª	»	
3.ª	»	Compañía de Paris á Orleans.
4.ª	»	Compañía del Oeste.
5.ª	»	Compañía del Norte.
6.ª	»	Compañía del Este.
7.ª	»	Compañía del Mediodía.
8.ª	»	Compañía del Este (división del movimiento).
		Compañía del Oeste (división de vía).
		Compañía del Norte (división de tracción).
9.ª	»	Ferrocarriles del Estado.

TELEGRAFÍA MILITAR.

Organización.

16. Por decreto de 29 de Abril del año último el servicio telegráfico militar y los establecimientos de él dependientes han sido encargados al Cuerpo de Ingenieros.

Para este servicio existen: La Dirección de telegrafía militar y los establecimientos siguientes:

Depósito central.

Depósitos regionales.

Depósitos para pequeñas columnas.

Depósitos para la telegrafía óptica en Argelia y Túnez.

La Dirección de telegrafía militar pertenece al Gobierno militar de Paris; de ella depende el Depósito central. La Dirección está bajo la inmediata autoridad del Ministro; pero en lo relativo á personal y disciplina depende del Comandante general de Ingenieros del Gobierno militar de Paris.

Esta Dirección está encargada de la organización y entretenimiento del material y de todo lo relativo al estudio de sus perfeccionamientos y empleo; de la instrucción del personal afecto á este servicio, y de la constitución y buen funcionamiento del telégrafo en campaña.

Está además encargada del estudio y experiencias sobre el empleo de las palomas mensajeras. A este efecto, el Director se pone de acuerdo con el Comandante general de Ingenieros de Paris.

Los establecimientos, á excepción del Depósito central, dependen directamente de la autoridad de Ingenieros del territorio en que se encuentran.

Todas las medidas relativas á la pronta movilización de las direcciones, secciones y parques, así como el buen funcionamiento del servicio telegráfico en cada territorio, son tomadas preventivamente en cada región, de común acuerdo, por el jefe de Estado mayor del cuerpo de ejército, el Comandante general de Ingenieros, y en su defecto el jefe de Ingenieros de la localidad, y el funcionario telegráfico destinado al cuerpo de ejército.

Un Oficial general, nombrado por el Ministro de la Guerra, está en-

cargado de la inspección anual de los diferentes servicios de la telegrafía militar.

Depende también del Cuerpo de Ingenieros la Comisión consultiva de telegrafía militar, compuesta de un General miembro del Comité técnico del Estado mayor de Ingenieros, como presidente, cuatro funcionarios superiores de la Administtración de Correos y Telégrafos, y cuatro oficiales técnicos como miembros, y como Secretario, con voz consultiva, un oficial de la Dirección de telegrafía militar.

El personal destinado al servicio telegráfico militar procede de los empleados de la Administración de Correos y Telégrafos sujetos al servicio militar, y de un cierto número de voluntarios y auxiliares militares.

Este personal presta servicio en el ejército, en la Dirección, en las secciones de primera y segunda línea y en los parques. En el acto de la movilización, el personal destinado al servicio telegráfico entra á formar parte del ejército. Los empleados asimilados á oficiales son nombrados en tiempo de paz por el Presidente de la República, según propuesta del Ministro de la Guerra, y á éste son propuestos por el Ministro de Correos y Telégrafos.

Una importancia especial tiene el servicio telegráfico en la caballería. Por cada regimiento se instruyen un sub-oficial, un cabo y cuatro soldados, no sólo en el empleo de los telégrafos eléctricos y ópticos y en el de los teléfonos, sino también en el tendido, repliegue, reparación y destrucción de las líneas, instrucción que reciben en una de las tres Escuelas regionales de Versalles, Lion y Luneville.

Visita á los Polígonos.

17. Las propas de Ingenieros acantonadas en Versalles, compuestas del 1.er regimiento de Zapadores-minadores y del 5.º regimiento de Zapadores de ferrocarriles, disponen de extensos terrenos para dedicarse á la instrucción práctica, situados no lejos de los cuarteles. (Véase lámina 2.ª) Descripción.

El 1.er regimiento hacía un simulacro de guerra de sitios, por la mina en *T*. Cuenta además con el resto del llamado campo de Satory y

terrenos de la derecha, en los cuales están instalados los almacenes de Ingenieros y de Artillería.

En uno de los ángulos *B*, del polígono de los ferroviarios, tienen algunos pequeños trabajos de zapador, y la Escuela de puentes del momento se halla establecida en uno de los ramales *A* del Gran canal, en el cual el agua estancada tiene una profundidad de 2 metros á $2^m,50$. El material correspondiente se almacena en el edificio de mampostería *R*, y los globos en el parque *D*.

El polígono *C*, de las tropas ferroviarias, está comprendido por la línea férrea de circunvalación y la carretera de Bayona á Paris. En un ramal que enlaza con aquella línea están el almacén 1, de puentes desmontables, y el 2, de material de estaciones. En *z* y *x*, se encuentran los parques de herramientas, general y de campaña; *n*, es una gran estacada de caballetes de madera, y *m x*, un terraplén con su vía de anchura normal. La brecha que existe entre el terraplén y la estacada, se utiliza para las prácticas de montaje y corrimiento de puentes desmontables, operaciones que también se hacen en *r*, *s* y *t*, aprovechando los claros que presentan unos pequeños barrancos, á cuyo efecto se han construido los estribos correspondientes.

ESCUELA DE FERROCARRILES.

18. Encierra el polígono dos parques de herramientas, uno de campaña, que contiene las empleadas en Escuela práctica, y otro general para abastecer al primero.

Las herramientas de asiento de vía, que son las generalmente empleadas y de todos conocidas, se conducen en carros del mismo tipo que los de los regimientos de Zapadores.

Un gran almacén de 36 metros de luz y 80 á 100 de longitud, de muros de mampostería y armadura metálica tipo inglés para la cubierta, contiene el material de puentes desmontables, para vías férreas, sistemas Marcille y Henry, ambos reglamentarios hoy en Francia. A lo largo del eje de la crujía está asentada la vía férrea, de anchura normal, que se une á la gran línea de circunvalación de Paris, y á derecha é iz-

quierda hay otras dos vías en que están colocados los elementos de los puentes Henry y Marcille. Estos elementos son transportados y cargados en vagones de la vía central, por medio de dos potentes grúas móviles de 24 toneladas de fuerza. A uno y otro lado, en el interior del almacén, hay dos anchos y elevados andenes en que están aparcados los elementos más ligeros del material de puentes desmontables, rodillos de corrimiento, gatos hidráulicos, etc.

Otro almacén, de dimensiones próximamente iguales á las del anterior, con vías centrales y andenes laterales, encierra material de estaciones, señales, cambios, agujas, plataformas, etc. Entre otras cosas, vimos ocho locomóviles, destinadas á otras tantas bombas de alimentación, con objeto de improvisar ó reparar las aguadas. A estas bombas corresponden unos depósitos de agua, formados por grandes cajones de palastro, de sección rectangular, que se colocan sobre entramados de madera y hierro, fácilmente desmontables, compuestos de cuatro vigas de madera que forman como las aristas de una pirámide truncada, las cuales, arriostradas por varillas de hierro, descansan sobre un marco de soleras.

En los dos almacenes hay verdadera abundancia de material, y si se agrega el que estaba en uso, en el polígono, se comprenderá cuánta atención y recursos se aplican en Francia para dar á las tropas de ferrocarriles la instrucción que necesitan, y para dotarlas de todos los recursos que exige en campaña este importante servicio.

En el polígono las tropas se dedicaban á los variados trabajos de su competencia, presentando un cuadro animado digno de verse. Grupos cajeando traviesas, otros haciendo el asiento de un ramal de vía, de anchura normal, que había de unirse á la línea de la orilla izquierda del Sena. Talleres de construcción de caballetes, con gruesas maderas rollizas y escuadreadas, para puentes improvisados; otros manejando las bombas de alimentación de las aguadas y armando los depósitos; otros, en fin, haciendo el corrimiento de un tramo de puente Marcille, de 30 metros de longitud.

Hay en el polígono una gran estacada, con caballetes de madera de clase vária, correspondientes á luces de $2^{m},50$ á 10 metros. Los caballetes (fig. 3, lám.ª 3.ª), son de la forma ordinaria, formados de dos pies

derechos, tornapuntas exteriores, solera y cumbrera, y una cruz de San Andrés, interior.

En los tramos de 10 metros de luz, los largueros están reforzados con sopandas y tornapuntas. En los de $7^m,50$, simplemente con tornapuntas.

Se veían armados y puestos en obra, dos tramos de puentes desmontables para vía férrea, de los tipos Henry, Boyer y Marion, y otro Marcille de 45 metros. El primero, de 30 metros de luz, acababa de ser corrido, y todavía se veían los restos de la cola y contrapeso. El segundo, de 20 metros de luz, había sido armado hacía ya algún tiempo.

De estos tipos de puentes desmontables, nos ocuparemos, en detalle, á continuación.

Puente del Coronel Marcille.

19. No es de este lugar la descripción detallada del puente Marcille, por ser material sobradamente conocido de los oficiales de Ingenieros. Recordaremos tan sólo que se compone de trozos de puente, como si éste, armado por completo, hubiera sido dividido por planos verticales normales al eje. Las vigas principales son de alma llena, reforzada con nervios verticales de hierros T, y los cordones superior é inferior están formados por tablas de palastro reunidas al alma por medio de hierros en escuadra. Todo el material es de acero dulce, de construcción.

Los diversos trozos se unen á junta-plana, empalmándose por medio de fuertes cubre-juntas y pernos en las tablas, escuadras y alma llena, de modo que las uniones, para todas las partes constituyentes del puente, se verifican en planos verticales transversales.

El material es de dimensiones diferentes, según que se destina á luces de 10, 20, 30 y 45 metros, ú otras intermedias.

Los puentes de 30 á 45 metros de luz, llevan la vía indistintamente en la parte superior ó inferior de las vigas, y en los restantes, hasta de 30 metros, la vía es superior. En los primeros, los trozos tienen longitudes variables: 10 metros, $7^m,50$, $2^m,50$ y $1^m,66$; y en los segundos, estas dimensiones son de 10 metros, 5 metros, $2^m,50$ y $1^m,25$.

Hé aquí algunos datos complementarios:

	PUENTES DE			
	10 metros.	20 metros.	30 metros.	45 metros.
Altura de las vigas principales.	$0^m,70$	$1^m,10$	$1^m,50$	$2^m,50$
Peso aproximado de los trozos de 10 metros de longitud:				
Vía superior.	4.700 kg.	6.600 kg.	14.200 kg.	20.800 kg.
Vía inferior.	»	»	17.500 kg.	24.000 kg.
Tiempo que se considera necesario para el montaje y corrimiento:				
Puentes de vía superior. .	6 horas	12 horas.	49 horas.	80 horas.
Idem de vía inferior. . . .	»	»	60 horas.	110 horas.

El material cuenta, además, con proas para el corrimiento, grúas, rodillos, gatos hidráulicos, etc.; y para el transporte de los trozos de puente, que ha de hacerse exclusivamente por vía férrea, se emplean los vagones ordinarios, de plataforma, ó bien, para los elementos del puente de 45 metros, de trucks especiales, que se colocan uno en cada extremo del trozo de puente, provistos de bogías, ó grupos giratorios de cuatro ruedas, para la facilidad del movimiento en las curvas de la vía férrea.

20. El puente del Teniente coronel de Ingenieros Mr. Henry, se compone de elementos rectilíneos, articulados, que puestos en obra forman vigas triangulares (figuras 3 y 4, lám. 4.ª). El cordón inferior *A B*, sometido á extensión, está formado de dos hierros doble T (figuras 5 y 6), separados por cuñas metálicas. Las vigas doble T, se empalman por medio de fuertes bridas. Puente Henry.

El cordón superior *C D* está compuesto también de dos vigas laminadas doble T; pero como se halla sometido á esfuerzos de compresión, estas vigas están enlazadas con barras planas (fig. 7), constituyéndose así una especie de cordón tubular más apto para recibir compresiones.

Las barras inclinadas *c m* (fig. 3), que trabajan por extensión, están formadas por dos hierros en U, paralelos; y las *a b*, sometidas á compresión, tienen sección tubular y se componen de dos hierros en U (figura 8), triangulados por medio de barras planas. Una organización parecida tienen los montantes verticales *a c* (fig. 3), según detalla la figura 9, en la que aparece la forma de las extremidades para recibir el pasador de la articulación. Las barras *a b* (fig. 3), pasan, en el cruce con las *c m*, por dentro de los hierros en U de estas últimas.

Para el corrimiento, á fin de dar mayor rigidez á las vigas, se agregan los montantes *r s*.

Las dos vigas principales que forman el tramo se arriostran horizontalmente por medio de triangulaciones, en los cordones inferiores, con objeto de obtener la rigidez conveniente en sentido transversal (fig. 4).

En la parte inferior de los montantes *b m* (fig. 3), se ensamblan los traveseros *m n*, representados por los ejes de las piezas elementales en la figura 10. Las piezas *e f* forman los espacios *A*, *B*, en donde penetran las cabezas *G* (fig. 11) de las viguetas longitudinales del tablero, que están formadas, según se vé en *D*, de dos hierros T sencilla y dos palastros verticales. Las viguetas que han de soportar los carriles de la vía, se empalman entre sí, y se unen á los traveseros, en los espacios *A*, *B*, (fig. 10) por medio de pasadores *a b*.

En los puentes de 45 metros de luz, se emplea para las vigas principales la disposición representada en la figura 12, que no es otra cosa que la superposición de dos vigas como las de la figura 3. Los cordones superiores (fig. 4), han de llevar, en este caso, triangulación semejante á la de los inferiores.

Los carriles en ambos casos, vienen á quedar á la altura del plano *E F* (fig. 3).

Puente Boyer y Marion.

La descripción que antecede corresponde á los datos y dibujos que, á la ligera estos últimos, pudimos tomar en el mismo polígono.

21. Veíase en el polígono también, un tramo sistema Boyer y Marion, de 20 metros de luz, puesto en obra.

El tipo propuesto en 1884 por los ingenieros civiles franceses Boyer y Marion, construcción de la fábrica «Sociedad Cail», se compone de ele-

mentos triangulares, indivisibles, los cuales puestos en obra forman vigas muy parecidas á las del tipo Henry. Tiene diez elementos diferentes, y cinco tipos de pernos de unión, y los tramos que pueden formarse sirven para luces comprendidas entre 40 y 60 metros.

El elemento más largo es de 6 metros, y la pieza más pesada es de 600 kilógramos. Cuanto al peso por metro lineal de puente, para las diversas luces, hé aquí las cifras:

Tipo de	30	metros	de luz.	2000	kilógramos.
»	45	»	»	2500	»
»	60	»	»	3400	»

22. En el polígono se veían también dos tipos de pilas metálicas, desmontables, para puentes de vía férrea; una, sistema del Comandante de Ingenieros Le Rosée, y otra debida al Teniente coronel Henry. La primera, representada por ejes en la figura 1, lámina 3.ª, se compone de montantes verticales de sección cruciforme (véase el detalle *O*) y triangulaciones formadas con hierros en escuadra. Cada montante está compuesto de cuatro hierros en escuadra, que abrazan á chapas de palastro, á las que se aseguran las barras de la triangulación. Los montantes se empalman hasta alcanzar la altura que se desee. Pilas.

La pila Henry, construida en la fábrica de Fives-Lille, consta de cuatro montantes de sección cruciforme (fig. 2, lám. 3.ª), compuestos de hierros en escuadra (véase el detalle *M*) y triangulaciones formadas por varillas provistas de tuercas *a* para templar. La pila se divide en varios trozos que se superponen, como indica el detalle *M*, asegurando el empalme con los pernos *m*. La anchura es constante desde la base á la coronación, y para obtener mayor estabilidad se colocan vientos *A B*, *C D*, dos de cada lado, de varilla, anclados al terreno. En el polígono los vientos estaban amarrados por su parte inferior á caballetes cargados con grandes pesos.

Las dos pilas tenían 20 metros de altura, y todos sus elementos son de acero dulce de construcciones. La del sistema Le Rosée parece tener estabilidad y rigidez mayores que la del tipo Henry. En esta última, si bien es cierto que se han corregido estos defectos, respecto á los movimientos en el plano de la figura, por medio de los vientos, subsisten en

sentido perpendicular á este plano, que es precisamente la dirección más peligrosa para el corrimiento del tramo metálico.

Según se nos dijo, el montaje de las pilas es muy difícil, sobre todo cuando se trabaja á más de 10 metros de altura, y esta es también nuestra opinión.

Historia de los puentes desmontables, para vías férreas en Francia.

23. La imprescindible necesidad de disponer de un material móvil de puentes desmontables es tan universalmente reconocida, que no creemos forzoso demostrarlo en este escrito. Pretender la reconstrucción de un puente de vía férrea ó de un viaducto, en campaña, con los medios primitivos, empleando los materiales que buenamente se encuentren á mano en la localidad, sin los medios auxiliares, poderosos, que esto exige, sin obreros hábiles las más de las veces, y con escasez de tiempo impuesta por la rapidez con que deben llevarse á cabo las operaciones militares, es desconocer los más elementales rudimentos de construcción.

La lentitud en las reparaciones de puentes y los graves inconvenientes que se deducen, pudieron ser apreciados, á su costa, por los franceses en 1870. Si hubieran contado con un material adecuado de puentes desmontables, que les hubiese permitido franquear fácilmente el Sena y el Marne, en París, y el Mosela en Metz, la defensa activa de estas plazas hubiese sido, sin duda, más enérgica.

La citada campaña de 1870 presenta ejemplos notables de las dificultades que encierra el problema de la reconstrucción de puentes de vía férrea. Para la reparación del puente del Martinet (línea de Nancy á Gray) en una brecha de 24 metros de luz, trabajaron 80 carpinteros durante 77 días. En la misma línea, una brecha de 25 metros del viaducto de Xertigny, exigió cien días de trabajo contínuo de 162 carpinteros. Los alemanes tardaron 17 días en habilitar el paso de una brecha de 20 metros de luz en el puente del Euron (línea de Nancy á Gray) empleando al efecto 105 obreros.

Los ejemplos citados y otros muchos más que podríamos mencionar de la guerra franco-alemana, referentes á la construcción de puentes de vía férrea por los ejércitos combatientes, dan, como promedio, una duración de 30 horas por cada metro lineal de tramo construido, sin que á pesar de este tiempo, excesivamente grande, tuviesen las obras la solidez y seguridad que son de desear. No es, pues, de extrañar que terminada

Fig.ª 1.ª

Carro de zapadores

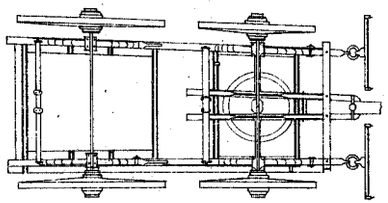


Fig.ª 2.ª

Carro de zapadores

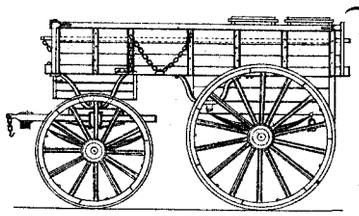


Fig.ª 3.ª

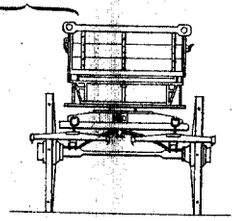
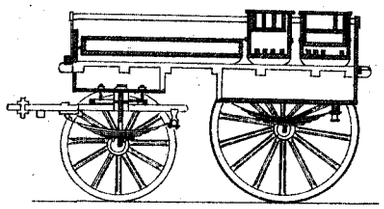


Fig.ª 4.ª

Carro de zapadores



Utiles de zapador
Sierras é instrumentos topográficos.
Utiles de carpintero.
Jarcia, material de puentes y aparatos de iluminacion.
Utiles de minador, albañil, é instrumentos topográficos.

Fig.ª 5.ª

Carga á lomo

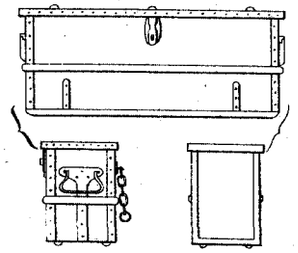


Fig.ª 6.ª

Carro reglamentario (modelo 1874)

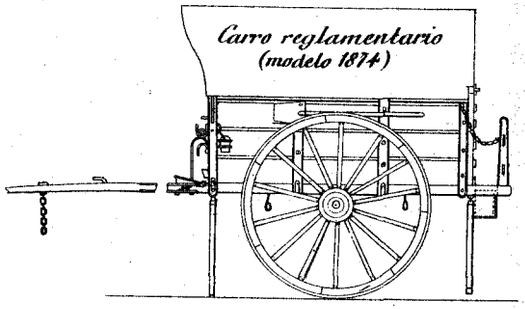


Fig.ª 7.ª

Carro de parque

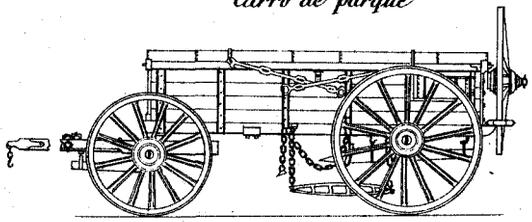


Fig.ª 8.ª

Carro de parque

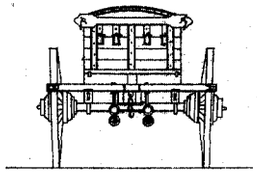


Fig.ª 9.ª

Carro de parque

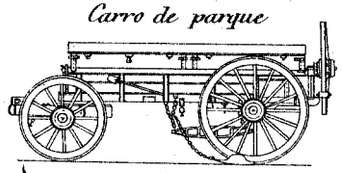


Fig.ª 10

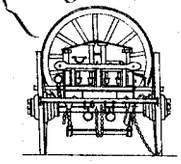


Fig.ª 11

Carro de sustancias explosivas

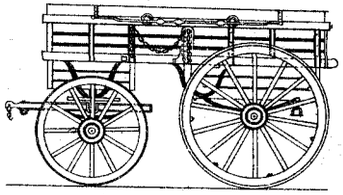


Fig.ª 12

Carro de sustancias explosivas

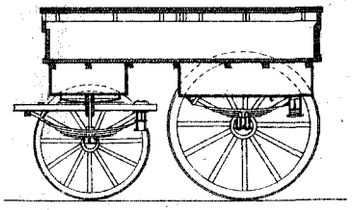
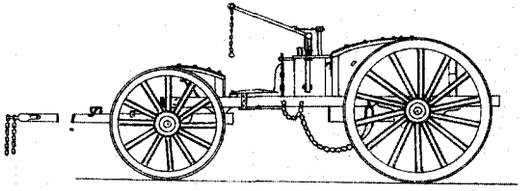


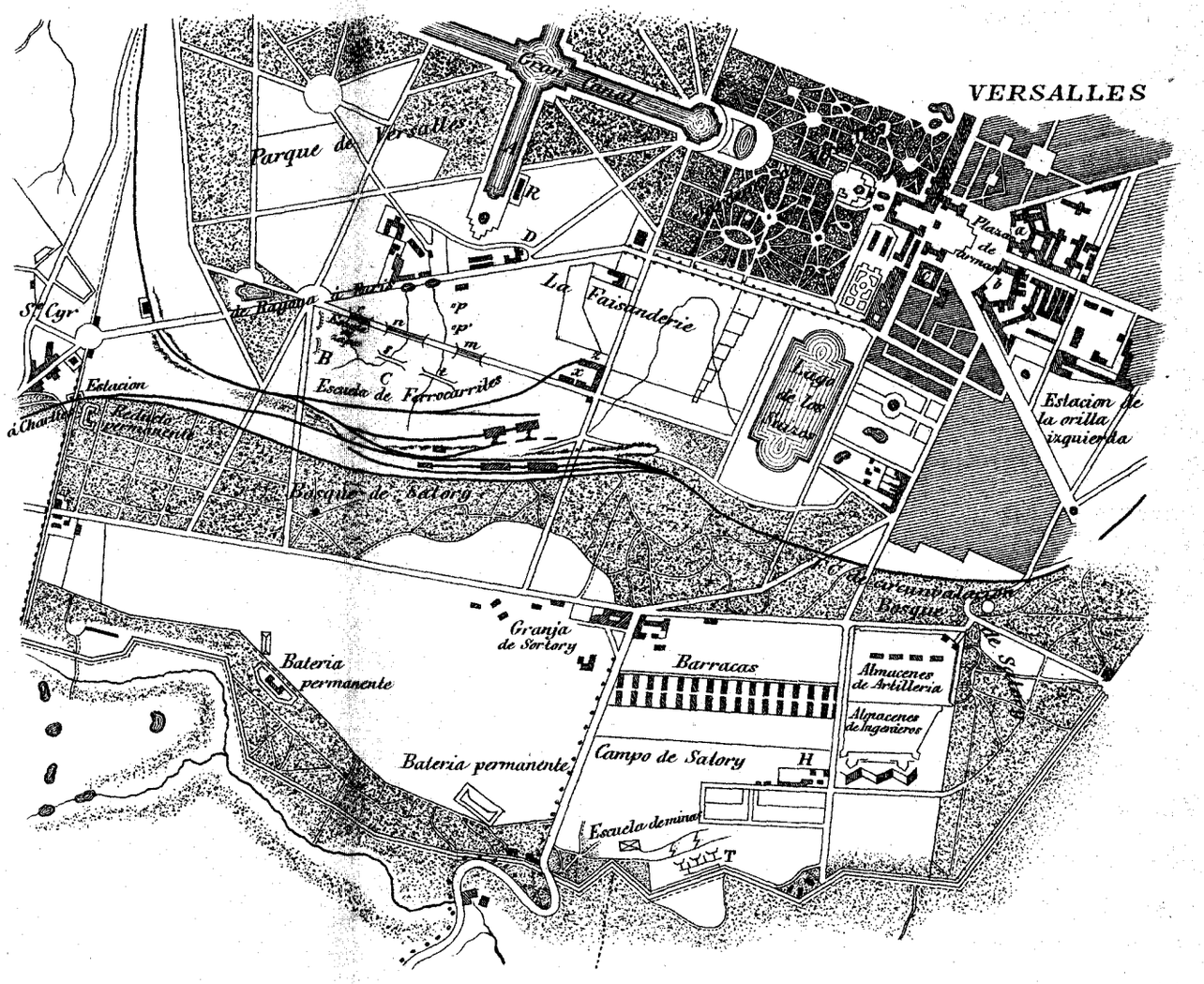
Fig.ª 13

Carro de fragua



EXPLICACION

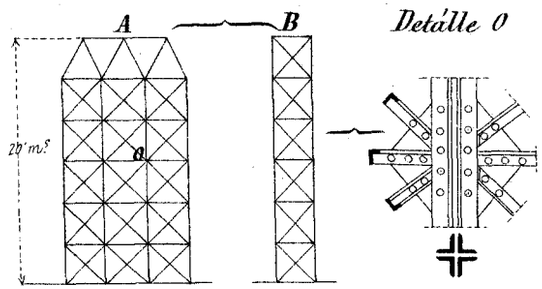
A.- Gran Canal
B.- Escuela de zapa
C.- Escuela de ferroviarios
D.- Parque aerostatico
H.- Trincheras abrigo construidas por la Infanteria
R.- Escuela de puentes
T.- Escuela de minas
a.- Guartel de artilleria
b.- Guartel del 1.er Regimiento de Zapadores
c.- Guartel del 5.º Regimiento (Ferroviarios)
m.- Puente Marille de 30 metros
n.- Estacada
r.- Puente Henry de 30 metros
s.- Puente Boyer y Marion
t.- Puente Marille de 40 metros
p.- Pila le Rosée
p'.- Pila Henry
x.- Parque de campaña
z.- Parque general
1.- Almacen de puentes del 5.º Regimiento
2.- Almacen de material de estaciones



Escala de 1.: 15,000 metros.

Fig.ª 1.ª

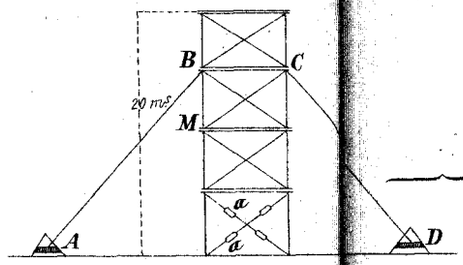
Pila le Rosée



Detálle O

Fig.ª 2.ª

Pila Henry



Detálle M

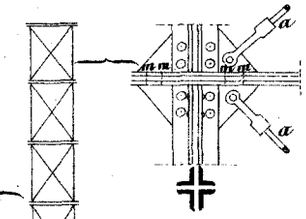


Fig.ª 3.ª

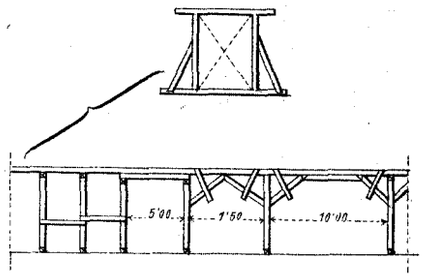


Fig.ª 4.ª

Trabajos de mina

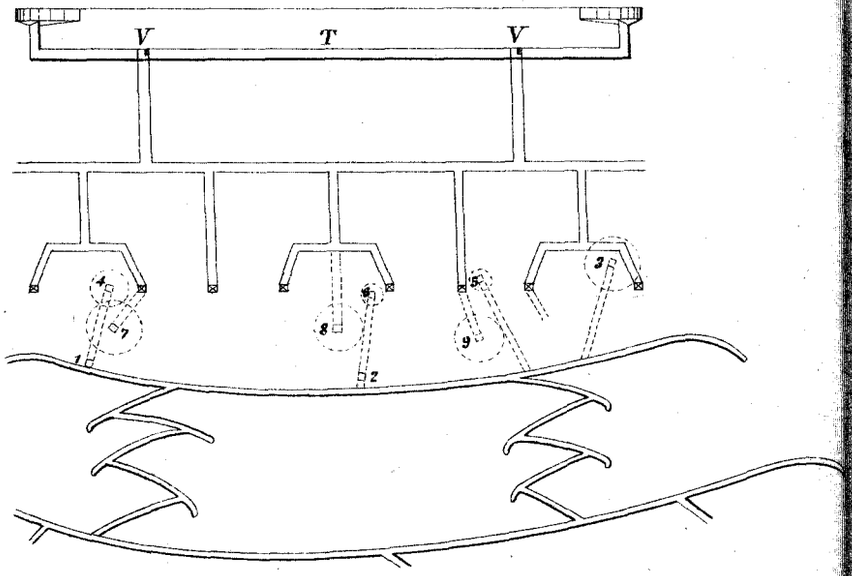


Fig.ª 5.ª

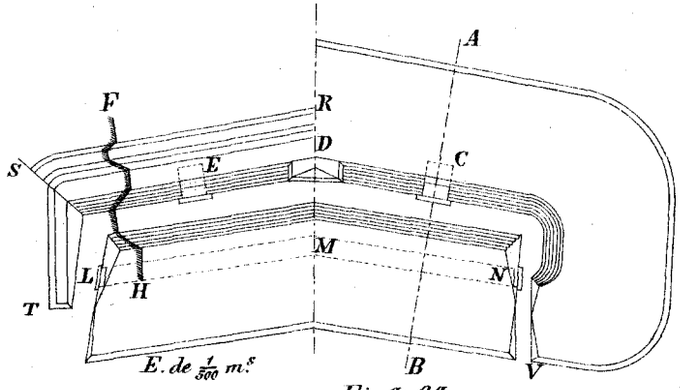
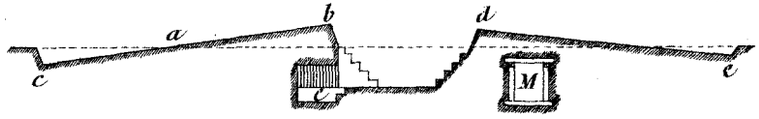


Fig.ª 6.ª

Corte por A.B.



Escala de 1:200 metros

Fig.ª 1.

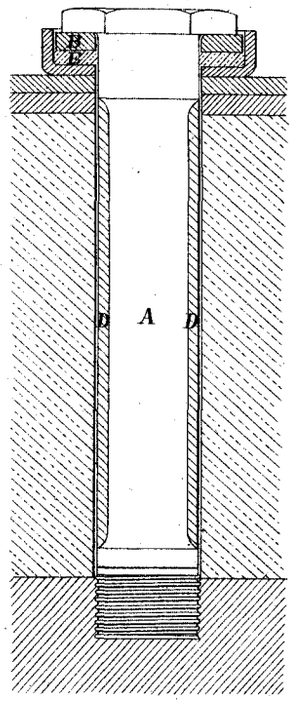


Fig.ª 2.

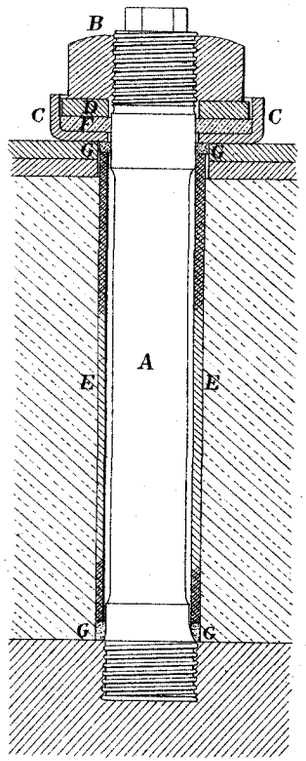


Fig.ª 3.

Puente y Proyeccion vertical

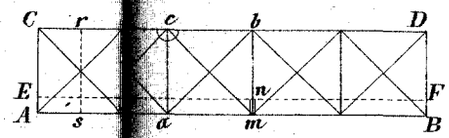


Fig.ª 5.

Seccion por MN.

Fig.ª 6.

Cordon A.B. Empalme

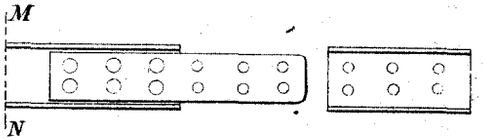


Fig.ª 4.

Proyecc. horizontal Triangul.ⁿ

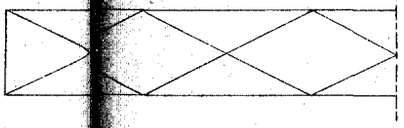


Fig.ª 7.

Cordon superior C.D.

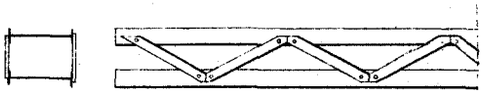


Fig.ª 9.

ntante a.c.

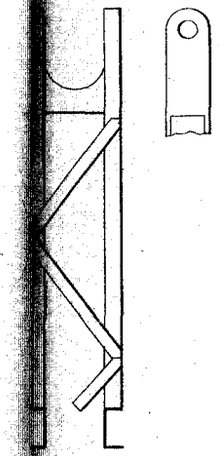


Fig.ª 8.

Barra inclinada a.b.

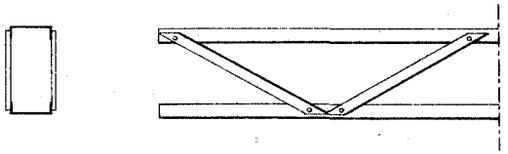


Fig.ª 12.

Puente de 45 metros.

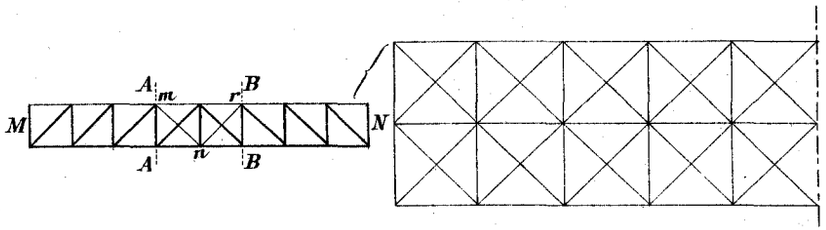


Fig.ª 10.

Travesero m.n.

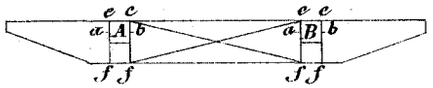


Fig.ª 11.

Vigueta

la guerra de 1870, los ingenieros franceses, militares y civiles, se ocupasen en resolver el problema de crear un material metálico de puentes desmontables, portátiles, para vía férrea, problema difícil, que puede decirse no ha encontrado hasta hoy solución satisfactoria, porque las condiciones de sencillez, movilidad, idoneidad para luces diversas, pluralidad de usos, rigidez, resistencia y facilidad de montaje y corrimiento que han de verse cumplidas, son antagónicas muchas de ellas.

El año 1875, el entonces Capitán de Ingenieros Marcille (hoy Coronel del regimiento de Zapadores-ferroviarios) presentó al Comité de Ingenieros el sistema que lleva su nombre. Mr. Léger, ingeniero civil, propuso poco después un sistema de puentes de acero, de celosía articulada.

En 1876, Mr. Celler, ingeniero de la línea del Este, proyectó vigas de madera, desmontables, del sistema Howe; y Mr. Joyant, ingeniero también de la misma línea, un tipo de puente con vigas de alma llena.

El material inventado por el Capitán Marcille fué adoptado como reglamentario en 1879.

Mr. Eiffel, distinguido ingeniero francés, hizo después aplicación de su sistema de puentes ordinarios á los ferrocarriles.

La Comisión militar francesa de ferrocarriles anunció en 1885 un concurso de puentes desmontables, destinados á la reconstrucción de los de vías ferreas, y se nombró una junta, presidida por el Coronel de Ingenieros Lallemant, para dirigir las experiencias é informar del resultado. En estas experiencias, verificadas en 1886, se ensayaron los tipos siguientes:

Puente Marcille, de 30 metros de longitud, construido por el Creusot.

Puente Eiffel, construcción de la casa Eiffel.

Puente Henry, construido por la Compañía Fives-Lille.

Puente Boyer y Marion, tramo de 60 metros, construído por la casa Cail.

He aquí algunos datos relativos á los puentes ensayados:

Sistema.	Número de elementos.	Peso del elemento más pesado.	Longitud del elemento más pesado.	Peso del metro corriente de puente		
				De 30 metros.	De 45 metros.	De 60 mts.
Marcille	11 tipos de piezas. . .	12.100 kgs. para el puente de 30 metros.	10 mts.	Vía superior 1.420 kgs.	2.080 kgs. contando con la proa	»
	72 clases de pernos.	18.100 kgs. para el puente de 45 metros.	10 mts.	Vía inferior 1.750 kgs..	2.400 kgs. para vía inferior. . .	»
Eiffel. .	13 tipos de piezas. . . 3 tipos de pernos. . .	366 kgs. (Travesero)	6 mts.	1.122 kgs. .	1.650 kgs. .	»
Henry. .	7 tipos de piezas. . . 6 tipos de pernos. . .	375 kgs. (Travesero)	5 mts.	1.125 kgs. .	1.750 kgs. .	»
Boyer y Marion	10 tipos de piezas. . . 5 tipos de pernos. . .	600 kgs. (Travesero)	6 mts.	2.000 kgs. .	2.500 kgs. .	3400 kgs.

Los cuatro tipos mencionados fueron sometidos á experiencias y estudiados en los diversos aspectos siguientes: Número de elementos; peso y dimensiones de éstos; número y clase de pernos, facilidad en la carga, descarga, transporte, montaje y corrimiento; resistencia y rigidez de los puentes, bajo la acción de una carga móvil formada por dos máquinas de 50 toneladas marchando á 15 kilómetros por hora; facilidad de almacenamiento del material y de renovación de los elementos.

El resultado de las experiencias puede resumirse en las siguientes líneas:

Puente Marcille. Pesado. Exige medios especiales de transporte. El corrimiento es difícil y peligroso. Para luces superiores á 25 metros

resultan flehas demasiado grandes (de 70 milímetros para la luz de 30 metros), nacidas del modo de unión de los trozos, por empalmes según planos verticales. Se tardó 49 horas en colocar en obra el puente de 30 metros de luz.

Tipo Eiffel. Se tardó 55 horas y 45 minutos en un tramo de 30 metros, y dió 26 milímetros de flecha. El transporte de los elementos triangulares es difícil y su solidez es deficiente. El corrimiento, para luces superiores á 30 metros, se considera muy difícil.

Tipo Boyer y Marion. El tramo de 30 metros se colocó en obra en 60 horas, y dió flechas de 35 milímetros. El montaje y corrimiento del tipo de 60 metros se hizo en 150 horas; presentó grandes deformaciones en las vigas principales por efecto de las cargas.

Tipo Henry. La colocación en obra del tramo de 30 metros se operó en 33 horas y 30 minutos, y se obtuvieron flechas de 25 milímetros. El corrimiento no es difícil, y el material, menos pesado que en los tipos precedentes.

Como resultado de estas experiencias fué adoptado, como reglamentario, el material Henry.

En general, para luces de 30 metros en adelante, los sistemas conocidos no resuelven el problema, y como la dificultad de éste crece en proporción mucho mayor que la luz, se trata de eludir aquélla disminuyendo la luz de los tramos, creando un material, desmontable y portátil, de pilas, con aplicaciones á puentes y viaductos elevados.

Ingenieros civiles y militares se ocupan en el estudio de esta cuestión, que interesa á ambos igualmente. No será tan fácil la solución cuando los proyectos presentados son considerados como defectuosos en mayor ó menor grado. El problema está, pues, en pie.

Juicio crítico de los sistemas Marcille, Henry y Boyer y Marion.

24. A las conclusiones antes citadas, de la Comisión de experiencias de puentes desmontables, añadiremos las que nos ha sugerido la inspección de los sistemas Marcille, Henry, y Boyer y Marion.

En el puente Marcille, los elementos son muy pesados, de difícil transporte y maniobra. Trozos de 10.000 y 18.000 kilógramos, exigen, forzosamente, medios excepcionales de carga, descarga y transporte, el cual no puede hacerse sino por vía férrea. Sera preciso, pues, que esta llegue hasta la misma orilla del claro que hay que salvar.

Los rodillos de corrimiento son también de un peso enorme. Los gatos hidráulicos que se emplean para los movimientos del puente en sentido vertical, al ser colocado en obra, dejan á lo mejor de funcionar, ó funcionan mal.

La proa, empleada para el corrimiento de los planos, es una pieza de volumen y peso grandes, de transporte difícil, y que no tiene, después, objeto útil como material de puente.

Es defecto grave la gran variedad de tipos de elementos. Resulta mucha debilidad en las uniones de los trozos de puente, como que toda la materia interrumpida se encuentra en una sola sección transversal, y toda la resistencia en estos puntos reside exclusivamente en la de las cubre-juntas y bridas. De esta debilidad nace una falta de rigidez en el sistema, sumamente perjudicial por tratarse de cargas en movimiento, productoras de choques, que hacen nacer muchas holguras y dislocaciones.

El puente de 45 metros de luz, de vía superior, tiene muy poca rigidez transversal, porque la separación de las vigas principales, que es de $1^{m},50$ solamente puesto que se subordina á la anchura normal de vía francesa, es muy pequeña para la longitud del tramo.

Los pernos empleados en las bridas y cubre-juntas de empalme de los trozos de puente, trabajan por esfuerzo cortante, lo cual es defectuoso, no tan solo para la resistencia sino para la rigidez del puente, porque las holguras que en los orificios correspondientes se crearán por esta causa darán lugar á dislocaciones en el sistema general.

El sistema Henry es, sin duda, superior al tipo Marcille, sin que esto quiera decir que no tenga defectos.

El sistema de vigas principales es el triangular, articulado, según los principios de los ingenieros americanos, y claro es que le resulta, por esta circunstancia, la ventaja, común á todos los sistemas articulados, de que las piezas elementales, cordones y barras, trabajan por compresión ó por extensión.

En las vigas triangulares Henry, y puesto que los montantes trabajan por compresión, las barras inclinadas en dirección de los estribos, á partir del punto medio, estarán también comprimidas, y únicamente en la región media *A B* (fig. 12, lám. 4.ª), en que por efecto de la posi-

ción diversa que en el puente pueden tener las sobrecargas móviles, dichas barras están expuestas á soportar esfuerzos contrarios de compresión y extensión, es necesario colocar las contradiagonales *m n*, *n r* que hacen de tirantes.

En las partes extremas *M A*, *N B*, las contradiagonales no trabajan.

La región media *A B* en que son necesarias, mecánicamente, las contradiagonales, es de longitud variable con la luz del puente.

Resulta de todo esto que al hacer el montaje, y puesto que hay dos clases de barras inclinadas, unas dispuestas al trabajo por compresión y otras al de extensión, será necesario un cuidado grande para colocar cada una de ellas en posición conveniente, á fin de que no trabaje nunca á contrasentido. Las contradiagonales de las partes extremas *M A*, *N B*, son inútiles en el concepto mecánico.

Aunque los elementos del puente Henry son mucho más ligeros que los del tipo Marcille, tiene, á nuestro entender, peso demasiado grande, pues hay piezas de cerca de 500 kilógramos. Los rodillos de corrimiento son pesadísimos.

Sería preciso que la experiencia adquirida en el uso frecuente de este material determinase si, como tememos, resultan al sistema dislocaciones por holguras en las articulaciones.

De todos modos, preciso es reconocer que el tipo Henry, superior á los tipos Marcille y Boyer y Marion, señala un progreso á la resolución del problema de puentes desmontables. Los elementos pueden transportarse sin gran dificultad en vagones cualquiera, y aun en carros ordinarios. No se necesita, para el corrimiento, proa, y basta armar un tramo de longitud mayor que la luz del puente por reconstruir, y colocar en el extremo posterior el contrapeso conveniente. La articulación de las diversas piezas, al montar el tramo, se hace con facilidad y no requiere obreros especiales.

El tipo Boyer y Marion presenta el inconveniente, antes señalado en el Henry, de dar lugar á pequeñas dislocaciones en las articulaciones de los elementos, sumadas las cuales producen flechas demasiado grandes en las vigas.

Además, según tuvimos ocasión de observar en el tramo puesto en obra en el polígono, el cordón superior de las vigas, igual en un todo al

inferior, se compone de dos vigas doble T, paralelas, unidas por medio de pernos alojados en pequeños tubos que mantienen la separación de aquéllas, es decir, de modo semejante á la disposición del cordón interior de las vigas Henry. Esta disposición es viciosa, pues que dicho cordón superior ha de trabajar por compresión, y para él se impone la forma tubular, que dará más resistencia á igual sección resistente.

Material de ferrocarriles de vía estrecha.

25. Los ingenieros militares franceses no tienen material reglamentario de vía estrecha para las aplicaciones en campaña. El material Decauville, de $0^m,60$ de anchura de vía y carriles de 7 kilógramos por metro longitudinal, ha sido adoptado por la artillería para las plazas fuertes, contra la opinión de los ingenieros que eran partidarios de la vía de un metro de anchura. La Marina ha aceptado también, para los ferrocarriles militares de las colonias, la vía Decauville de $0^m,60$.

Como vía de campaña entienden los ingenieros franceses que la de $0^m,60$ tiene poca estabidad, principalmente en sentido transversal, y consideran como mínimo la vía de un metro, que es además de mayor potencia de tráfico.

Escuela de aerostación.

26. No existe un paraje determinado para la instrucción del manejo del material aerostático. Cada compañía de aeronautas está en constante movimiento ejecutando ascensiones donde lo considera conveniente, y trasladándose frecuentemente de un punto á otro con el material.

Guiados por el globo y acompañados del Capitán Barbé, nos dirigimos al punto donde se encontraba la compañía de aeronautas del 1.er regimiento, mandada por el Capitán Bonel, quien se manifestó más expresivo y menos receloso que la mayoría de sus compañeros. Estaba á la sazón dedicado á instruir los reservistas que acababan de ser llamados, y nos invitó, á pesar de lo desapacible del día, á hacer una ascensión, invitación que aceptamos desde luego, seducidos más por la idea de ver á vista de pájaro la organización interior del fuerte de Saint-Cyr, cuya entrada no nos era permitida, que por disfrutar del placer de la ascensión. Una cada uno ejecutamos, pudiendo comprobar,

por reinar un viento no muy suave, la habilidad y práctica de estos oficiales, casi exclusivamente entregados á este ejercicio.

El material es idéntico al nuestro, y como nosotros, han sido en ocasiones víctimas de averías semejantes á la ocurrida aquí en el año anterior.

Nos manifestó el Capitán Bonel que su globo perdía diariamente medio metro cúbico de gas, y que iban á desechar el carro generador de hidrógeno por encontrar preferible el transporte del gas en cajas metálicas.

Para aparcar el globo hinchado tienen almacenes convenientemente dispuestos, con la altura suficiente, y tabiques de madera rápidamente desmontables. El de esta compañía que tuvimos ocasión de ver se encuentra en *D* (lám. 2.ª).

Escuela de minas.

27. Dejamos la compañía de aeronautas y nos dirigimos á la Escuela de minas. La época de nuestra visita á Versalles no pudo ser más oportuna para presenciar esta instrucción, á la que los franceses dedican atención suma, pues según ellos dicen, y creemos no les falta razón, por mucha importancia que haya tomado la defensa lejana, no será difícil encontrar guarniciones valerosas que obliguen al sitiador á la guerra subterránea.

En esta ocasión, el 1.er regimiento estaba verificando el simulacro de guerra de minas, con que, según reglamento, se terminan los trabajos anuales de instrucción práctica.

Divídese el regimiento en sitiados y sitiadores; cada uno de ellos ignora los trabajos del adversario, se estimula el celo y amor propio de los oficiales y la tropa, y de este modo el simulacro toma las mayores apariencias de realidad. Para evitar desgracias y juzgar el verdadero estado de cada parte se nombra una Comisión de oficiales, presidida por el Comandante de la Escuela, cuya Comisión va presentando en un plano los adelantos de unos y otros, dibujando los embudos y los ramales progresivamente. Pudimos juzgar del interés con que todos los oficiales siguen estos trabajos por las diligencias que hacían cerca de los

miembros de la Comisión para inquirir noticias de la marcha de las obras del adversario.

El terreno en que está establecida esta Escuela, en *T* (lám. 2.ª), es arcilloso, duro y mezclado con grandes trozos de roca caliza, que le hacen difícil para este género de trabajos. En la inmediación se ha montado una barraca de madera que sirve de oficina á la Comisión, y en su parte posterior hay un pasillo con una ranura en la pared de tabla á la altura de los ojos para presenciar las voladuras. Desde este sitio vimos la de un hornillo de 400 kilógramos de pólvora ordinaria.

A nuestra llegada, el estado de los trabajos era el siguiente (fig. 4, lámina 3.ª):

DEFENSA.—Una profunda trinchera *T*, de donde partía el sistema de contraminas y que servía de taller.

Las contraminas del sistema francés con los ventiladores movidos por dos dinamos Edison *V V*, construídos en Paris, que funcionaban con la mayor regularidad.

Las galerías 7, 8 y 9.

ATAQUE.—Las dos paralelas representadas en la figura 4, lám, 3.ª

1 y 2. Entradas en pozo, que se abandonaron por no permitir el terreno la ejecución de los pozos sin revestimiento, como ellos pretendían.

3. Galería: el embudo de su hornillo inutilizó una galería de la defensa.

4. Galería inutilizada por la defensa.

5 y 6. Hornillos cargados con ocho kilógramos de melinita, que no dieron resultado.

Las herramientas empleadas y los procedimientos de ejecución difieren muy poco de los nuestros, y son conocidos de todos los ingenieros militares por ser los descritos en *L'Ecole de Mines*.

Hacen gran uso de la barrena hueca para la carga de los humazos. Una de ellas se rompió á nuestra vista por su primera unión.

Las cargas eran de pólvora de mina: 100 y 400 kilógramos.

La melinita en tierras produce muy poco efecto, como se comprobó en los hornillos 5 y 6.

Emplean exclusivamente los marcos de madera rectangulares. Dicen

que los trapeciales no resisten á la presión del terreno cuando es flojo. No aceptan los ojivales de hierro ó madera por las dificultades que presentan para el revestimiento, impidiendo la marcha progresiva del trabajo.

Los embudos eran coronados inmediatamente con cestones y faginas, ejecutando estos trabajos y los subterráneos como en campaña, es decir, sin perfilados ni retoques inútiles, que absorben sin provecho personal y tiempo.

Es, en resumen, esta Escuela un verdadero simulacro, que pone al personal en condiciones de no vacilar un instante cuando llegue el momento de aplicar su instrucción en la guerra.

ESCUELA DE ZAPADORES.

28. Nada de notable encontramos en el polígono destinado á esta clase de trabajos, inmediato al del regimiento de ferroviarios. Habiéndose dedicado el 1.er regimiento de Zapadores al simulacro de guerra de minas, de que en otro lugar damos cuenta (núm. *27*), vimos tan sólo dos obras de tierra terminadas, una sin abrigos ni revestimientos, ejecutada en hora y media, y otra representada en las figuras 5 y 6 (lám. 3.ª), que describimos á continuación á grandes rasgos, no porque ofrezca nada de particular, sino para dar cuenta de lo que hemos visto. A la derecha de la capital de la obra el parapeto está en glácis, y á la izquierda tiene el perfil ordinario, en la parte *R S*, y el de trinchera abrigo en *S T* (*). Veíanse en los taludes revestimientos de toda clase, sacos, faginas, tepes, zarzos, etc.

El pequeño través en capital *D* (fig. 5, lám. 3.ª), con abrigo bajo el parapeto (véanse también las figs. 4 y 5, lám, 5.ª) estaba blindado con una primera capa de maderos rollizos y una segunda de faginas, sobre la que descansaba el macizo de tierras. En los *C* y *E* (fig. 5, lám. 3.ª), se había empleado la chapa de palastro ondeado. Este material, á nuestro

(*) Los dibujos que acompañamos, deducidos de apuntes tomados sobre el terreno, no tienen las dimensiones exactas, que no pudimos medir ni había interés en hacerlo. Nuestro objeto es tan sólo presentar las disposiciones de conjunto.

entender de gran aplicación, merece ser ensayado en nuestras Escuelas prácticas. Daremos aquí una ligera descripción, porque trataremos de él con más detalle cuando nos ocupemos de los trabajos de los ingenieros alemanes (núm. *153*), de los cuales lo han copiado los franceses con pequeñas modificaciones.

Las chapas de palastro galvanizado, ondeado, afectan la forma semicilíndrica (figs. 1, 2 y 3, lám. 5.ª) y llevan, cosidos con pequeños roblones, un hierro angular *c* en lo que ha de ser arranque de la bóveda, y otro *r* en la junta de clave. Se asientan sobre soleras de madera *a*, *b*, uniéndose las escuadras *r* y *s* de la clave por medio de pasadores. Las chapas tienen un metro próximamente de ancho, y puestas á continuación puede formarse con ellas abrigos de la longitud que se quiera.

Sobre el trasdós se coloca inmediatamente la tierra. En el abrigo *E* (fig. 5, lám. 3.ª) el plano de cabeza estaba revestido con gruesos terrones, á guisa de mampuestos, en seco (véase parte izquierda de la fig. 1, lámina 5.ª, y sección por *C D*), y este mismo revestimiento en talud *a′ b′*, partía de la horizontal de la clave.

En *C* (fig. 5, lám. 3.ª) el plano de cabeza era vertical, haciendo de revestimiento otras planchas ondeadas *H* (parte derecha de la fig. 1, lámina 5.ª, y sección por *E F*, fig. 3) convenientemente ancladas al macizo del parapeto. La plancha *H* descansa sobre el trasdós de la bóveda por medio del hierro en escuadra *s n*, curvado en arco de círculo, á que aquella va cosida con pequeños remaches.

Para aumentar la altura bajo clave del espacio cubierto, se vacía la pequeña excavación *M*.

Vimos aplicados varios tipos de alambradas, entre ellos el Brun. Construída la alambrada sobre largos piquetes dispuestos según las generatrices de un cilindro, y colocado el alambre en varias hélices cruzadas, puede aplastarse el todo y queda plegado en rollos, de fácil transporte por su volúmen y peso pequeños. Para colocarlo en obra no hay más que estirar y clavar piquetes en alguno de los puntos de cruce de los alambres. Estas alambradas son de poca resistencia y no valen, ni con mucho, lo que las construídas sobre el terreno. En la Escuela práctica de zapa no experimentan con fuego de artillería las obras construidas, como muy acertadamente está mandado de Real orden se haga en

las nuestras. Los franceses siguen fielmente los tipos de sus manuales. La elección de tipos y las pruebas con artillería se hacen en Châlons y en Bourges, y en los polígonos se aplican los perfiles y espesores prescriptos en aquellos.

El Cuerpo de Ingenieros no dispone de talleres para la construcción de su material. Los carros de los parques los construye la artillería en Vernon, sin perjuicio de apelar á la industria privada cuando es necesario, y esto mismo sucede con las herramientas. En Versalles existen únicamente pequeños talleres de reparación para herramientas y carros.

Escuela de Puentes.

29. Desde la Escuela de zapadores nos dirigimos á la de puentes, establecida en la orilla de uno de los brazos menores del Gran canal. (Véase *A*, lám. 2.ª)

30. En puentes del momento, de madera, vimos tan sólo algunos caballetes de las formas conocidas, unos hechos de maderas escuadreadas y otros con piezas rollizas. **Puentes del momento.**

31. Conocidas son las ventajas de los puentes desmontables portátiles para peatones y carros, y su utilidad en campaña para el rápido establecimiento de las comunicaciones. La dificultad de encontrar materiales y las inherentes á los detalles de construcción, por muy práctico que en estas obras sea el personal técnico, son causa muchas veces de que los trabajos se lleven con lentitud contraria á las necesidades de las operaciones militares, en las que siempre, y más hoy si cabe, el elemento tiempo desempeña importantísimo papel. De aquí el que, en todas las naciones, se trate de crear un material de puentes portátiles, dispuesto para ser transportado y armado con rapidez y facilidad. **Puente Eiffel.**

No es fácil dar solución satisfactoria al problema. Los elementos del puente han de ser de peso y volúmen reducidos, y el puente ha de tener resistencia y rigidez suficientes y han de poder hacerse sencilla y rápidamente las operaciones de montaje y corrimiento.

Uno de los tipos ya conocidos, el Eiffel, está en uso en la Escuela práctica del 1.er regimiento de Zapadores. Es el tipo núm. 5, de los va-

rios proyectados por Eiffel. Tiene 3 metros de ancho, 21 de longitud, y está calculado para una sobrecarga uniformemente repartida de 225 kilógramos por metro cuadrado, es decir, 650 kilógramos por metro corriente de puente, ó para el paso de carros de cuatro ruedas, con peso total de 2300 kilógramos, arrastrados por seis caballos, de 500 kilógramos de peso cada uno. No damos los detalles de este puente por ser conocidos ya sobradamente en libros, folletos y publicaciones técnicas.

Para el corrimiento del puente, una vez armado en la orilla de partida, emplean, en la Escuela práctica de Versalles, un caballete metálico (figuras 11 y 12, lám. 5.ª) compuesto de los pies *a b*, *c d*, tornapuntas *h m*, *r s*, *B* y *C* y un puente móvil *A*. Cada uno de los pies *a b*, *c d*, se compone de dos hierros en escuadra, entre los cuales resbala el extremo del puente *A*, el cual se puede colocar á la altura que se desée mediante pernos pasadores, á cuyo efecto las ramas correspondientes de las escuadras de los citados pies están provistas de orificios circulares.

Los tornapuntas *h m*, *r s*, son hierros T sencilla, y los *B* y *C*, hierros en escuadra.

Cierto es que el empleo de un caballete para el corrimiento del puente reporta grande utilidad, no tan sólo porque se hace innecesaria entonces la proa, que de otro modo hay que armar, sino principalmente porque dividida la luz en dos partes, el trabajo del metal durante la operación se disminuye considerablemente. La dificultad está en la colocación del caballete, porque unas veces no se encontrarán puntos en que apoyarlo, como, por ejemplo, cuando se trate de restablecer el paso por un arco de puente volado, y otras veces la superfie de apoyo será irregular, y estará á gran profundidad, que es lo que sucederá en los rios caudalosos ó de lecho desigual.

El material Eiffel empezó á experimentarse por los ingenieros militares franceses hace siete años, en Versalles. El General Brière de l'Isle, jefe del Cuerpo expedicionario del Tonkin, llevó como material de la expedición, 14 puentes Eiffel, de 21 metros de longitud.

En Bélgica, Rusia y otras naciones, ha sido experimentado también el sistema Eiffel, lo cual demuestra la importancia que en todos los países se concede al material de puentes desmontables.

El sistema Eiffel es sencillo, de fácil montaje, aún por soldados poco

ejercitados en la maniobra, y los elementos que lo constituyen son poco numerosos y de peso moderado, pues el de la pieza más pesada no excede de 145 kilógramos. En cambio encontramos en él los siguientes defectos.

El metal durante el corrimiento alcanza valores de coeficiente de trabajo muy grandes, cuando no se emplea caballete intermedio. Bien es verdad que este inconveniente es común á otros muchos sistemas.

La rigidez de las vigas y del total del puente, no es tan grande como fuera de desear, debido á que los pernos que efectúan la unión de los diversos elementos tienen una cierta holgura, inevitable, dentro de los orificios correspondientes, holgura que irá aumentando con el uso, atendiendo á que dichos pernos trabajan por esfuerzo cortante.

Como los pernos trabajan por esfuerzo cortante, sufren mucho, y esto es una causa de debilidad del puente.

Creemos que es del mayor interés cuanto se relaciona con el estudio de un material de puentes desmontables para vías ordinarias, y que debieran hacerse las experiencias necesarias en nuestro país para dotar al ejército de un material de campaña que reuniera, en cuanto posible es, las condiciones convenientes.

Encontramos también en la Escuela de puentes de Versalles, algunas pasaderas de hierro y de madera, de que damos noticia á continuación.

Pasadera de hierro.

32. (Véanse las figuras 6, 7 y 8 de la lám. 5.ª) Los elementos se componen de dos vigas triangulares (fig. 6), de hierro, arriostradas en los extremos y en los montantes verticales *a b*. El piso *T*, es de tabla, tiene $0^m,80$ de anchura.

Cada una de las vigas (figuras 6 y 7), está organizada del siguiente modo: Dos largueros ó cordones *a*, de sección cruciforme de $\frac{60 \times 60}{6}$ están ligados en sus extremos por las planchas de palastro *H*, y en el medio por barras inclinadas *d*, y montantes *c*, de sección de escuadra, de $\frac{45 \times 45}{5}$. Los extremos de las vigas terminan en hierros *b* en T, arriostrados por una cruz de San Andrés. Entre los dos montantes proyectados en *c* (fig. 6, lám. 5.ª), vá cosido un marco de arriostramiento *A* (fig. 7)

compuesto de dos piezas horizontales *n*, *m* y dos inclinadas *s*, *r*, formando aspa, todas ellas de sección de escuadra. Los largueros ó cordones inferiores (fig. 6) llevan además la triangulación *D*, *E*. Las bridas *M* (fig. 6), hacen el empalme de dos trozos contiguos.

Esta pasadera, únicamente útil, por sus dimensiones, para peatones, resulta pesada y de escasa resistencia. Además, la pequeña sección de los hierros empleados es causa de que se doblen y alabeen por efecto de los choques inevitables en los transportes y uso corriente.

Otras pasaderas.

33. Otra pasadera, también de hierro, aunque más ligera que la anterior, está representada en la figura 10 (lám. 5.ª). Consta de tres trozos, *E A B*, *A B D C* y *C D F*, que se empalman por medio de bridas *n s*, *r t* y pernos *a* (fig. 10). Cada trozo está compuesto de dos vigas triangulares, unidas en la parte superior por una plancha contínua de palastro, que hace de piso, y en la parte inferior por una triangulación *m*, *n*..... (fig. 10). Los cordones superior é inferior de las vigas, y las barras inclinadas, son pequeños hierros en escuadra.

Los hierros son muy débiles, y estaban torcidos. El sistema es poco práctico.

Al lado de esta pasadera se veía otra, de madera (fig. 9, lám. 5.ª), compuesta de dos mitades que se unen en el plano *B C*, resultando al conjunto la forma lenticular. Los cordones y barras son de madera, así como las piezas *m*, *n* y los travesaños de unión *a*, *b*, de las dos vigas, sobre los cuales se apoyan las tablas *c*, *d*, que forman el piso. La unión de los cordones *A B*, *B C*, se fortalece con las chapas *A* de palastro.

El todo es ligero, pero no le encontramos más aplicación que para el paso de un foso.

Material reglamentario.

34. La circunstancia de estar en estudio en nuestro país la reforma del material de puentes, nos incitó á dedicar especial interés á este asunto, á fin de cerciorarnos si la práctica ratificaba las conclusiones de los estudios teóricos comparativos ejecutados por una comisión del Cuerpo.

Por tradición, que el Cuerpo de Ingenieros no ha podido todavía quebrantar, continúa el servicio de los Pontoneros perteneciendo al Cuerpo de Artillería. En Versalles no vimos, por consiguiente, el material reglamentario francés y sólo sí algunos modelos de los elementos de otros

países ensayados por el Cuerpo de Ingenieros. No obstante creemos oportuno describir á grandes rasgos el francés, toda vez que este servicio, en nuestro país como en los demás, está á cargo de los Ingenieros.

No es el material francés de los mejor concebidos. Cuando el material Birago se generalizó en Europa, este país lo desechó, porque en las pruebas se quebraron los semi-conos de las uniones de los pontones, al paso desordenado de la infantería. Solamente se aceptó el caballete, gloria de Birago, poniendo aún en duda su indiscutible originalidad.

En la actualidad hay dos regimientos de 14 compañías con una fuerza en tiempo de paz de 68 oficiales y 1439 indivíduos de tropa.

El 1.er regimiento, de guarnición en Avignon—circunscripción del 14.° cuerpo de ejército—tiene una compañía destacada en Argelia y una sección en Túnez. El 2.° regimiento está en Angers.

En caso de movilización á cada cuerpo de ejército se destina una compañía de Pontoneros, con el tren de puentes de cuerpo de ejército, y á cada ejército, en caso de necesidad, un tren de ejército, que conste de dos de cuerpo de ejército. Cada uno de estos se compone de dos divisionarios y una reserva. Consta de 38 carros con tiros de 6 caballos, transportando material para $123^m,50$ de puente.

Los carros son de dos tipos diferentes, uno pesado y otro ligero *(chariot)*, donde se colocan los tablones; la carga del material no deja de ser complicada y poco racional. Hay diez distintas cargas en las ocho secciones de que se compone un tren. Una de cuerpo muerto, una de caballetes y una de fraguas, de 4 carros cada una, 2 grandes y 2 pequeños; cuatro secciones de pontones, que constan en total de 24 carros, 16 grandes y 8 pequeños, y la sección de reserva de 2 carros, 1 grande y 1 pequeño.

Los carros descargados pesan respectivamente 914 y 919 kilógramos y con toda su carga 2120 y 2020 por término medio.

Los apoyos de cada tren de cuerpo de ejército son 20: 16 pontones y 4 caballetes. Estos son del sistema Birago puro, con pies de tres longitudes diferentes: 2 metros, 3 metros y $3^m,90$, que se emplean siempre sencillos, es decir, uno por cada caja de cumbrera.

Los pontones son enteros, de madera, de perfil trapecial y de $9^m,50$ de longitud. Pesa el pontón 660 kilógramos y tiene una fuerza de flota-

ción de 8500 kilógramos. En el carro vá colocado en su posición natural y completamente equipado.

Las viguetas de pavimento son de dos clases. Unas provistas de garras de madera y otras sin ellas. Aquellas empléanse únicamente en los tramos de caballetes, dos por tramo. La longitud de las primeras es de 6 metros y la de las segundas 8 metros. Ambas son de sección cuadrada 0,12 $\times$ 0,12, disposición antieconómica que sólo se encuentra en este país y en los Estados Unidos de América.

Los tramos de pontones tienen cinco viguetas y los de caballetes siete.

Las viguetas se apoyan directamente sobre los bordes de los pontones, lo que permite variar la luz de cada tramo según hayan de ser las cargas á que tenga que someterse el puente. La mayor longitud de tramo es de 6 metros.

El tramo de caballete tiene la longitud fija de 5^m,567.

Los tablones tienen una longitud de 3^m,90 y se trincan por medio de viguetas, dejando una anchura de vía de 3^m,08.

Bastan estos datos para comprender que en este material no se han utilizado los progresos de la industria, como en otros países, para llegar á la mayor resistencia y facilidad de maniobra, obteniendo al propio tiempo la mayor economía en el arrastre con una acertada disminución en el peso de los elementos. Circunstancia muy sorprendente en un país que tan preferente atención presta á todos los asuntos militares.

En primer lugar, la diversidad de cargas y los tipos diferentes de carros introduce una complicación reñida con la rapidez de las maniobras, condición importantísima cuyo valor estriba casi siempre en la oportunidad.

El caballete, igual al empleado en nuestro tren, aunque con menor inclinación en los pies (70°) lo que le proporciona más resistencia, es en sus detalles tal como Birago lo concibió, sin que en él se hayan utilizado los progresos realizados en otros países. El empleo, además, de pies de tres longitudes diferentes, es combatido por los actuales pontoneros como inútil y antieconómico. Cierto que en el sistema Birago se usan pies de cuatro longitudes distintas con el fin de poder establecer el puente sobre apoyos fijos ó flotantes indistintamente; pero aceptado universalmente el pontón como cuerpo de apoyo principal, al caballete

no le resta otro empleo que el de su colocación en las orillas y bajos fondos, y para este objeto basta con tener pies cortos de dos longitudes á lo sumo.

En Francia resulta además doblemente incomprensible la adopción de pies de tres clases, por cuanto entran en el material en pequeña proporción (4 caballetes por 16 pontones), de modo que con ellos ni se consigue el objeto de Birago, ni se obtiene la mayor economía en el transporte descartando del material piezas de muy raro empleo y que pueden ser sustituidas por otras.

En cuanto al pontón, tanto por ser de madera como por sus desproporcionadas dimensiones que hacen difícil su transporte y manejo, dista mucho de ser un modelo en que podamos inspirarnos.

Algo parecido puede decirse de las viguetas de pavimento. La condición esencialísima de aliviar en lo posible el peso sin perjuicio de la resistencia ha sido completamente olvidada en su construcción.

Para evitar que los pontoneros sienten las viguetas de plano en vez de hacerlo de canto, no hallaron otro expediente que el de hacerlas de perfil cuadrado, con gran aumento del cubo de maderas y el consiguiente de peso para el arrastre. Errores que no serían de temer si todas las viguetas tuvieran garras, evitándose además así en la mayor parte de los casos el empleo de las trincas, siempre más embarazoso y menos seguro que el de las garras.

El tablón es largo con exceso, sin que la parte volada de ellos que queda á ambos lados de la vía pueda tener verdadera aplicación.

Todos los inconvenientes enunciados evidencian la antigüedad del sistema. Con él, es verdad, se inició la nueva tendencia que ha venido más y más acentuándose á medida que los progresos de la industria han permitido salvar los inconvenientes que hicieron á Birago proponer un sistema en el que se volvía á antiguos defectos; pero también es cierto que en la actualidad este material ha quedado verdaderamente atrasado.

Lo repetimos, no se explica esto en un país que tanto trabaja y adelanta en asuntos militares y que cuenta en su historia desastres irreparables por la inoportuna enagenación de sus trenes de puentes, enagenación motivada por los mismos defectos que tiene el actualmente empleado.

Como en este país, por excepción, el Cuerpo de Artillería tiene á su cargo el material de puentes, y nuestro limitado tiempo no nos ha permitido comunicarnos con estos pontoneros (*), ignoramos á qué obedece la repugnancia en abandonar un tren inferior á la mayor parte de los conocidos; lo que sí hemos tenido ocasión de ver es que el Cuerpo de Ingenieros, celoso porque se le encomienden funciones que indiscutiblemente á ellos solos competen, estudia el asunto con interés y abunda en las ideas modernas.

En la Escuela de puentes del parque de Versalles existen de ello pruebas fehacientes.

Tienen allí en ensayo 16 proas de palastro, del tipo sueco en dimensiones y forma, pero con el sistema de unión simplificado (figuras 13 y 14, lám. 5.ª) que no creemos pueda darles buen resultado.

Se veían también aparcados dos tramos completos de tablero, sistema Birago, con viguetas de menor longitud.

Había algunos caballetes cuyos elementos eran exactamente iguales á los nuestros.

Visita á la Fábrica Decauville.

35. La fábrica Decauville es de creación bien reciente, como que data de 1876, año en que Mr. Paul Decauville, dedicado entonces á la agricultura en Petit-Bourg, tuvo la idea de emplear pequeñas vías férreas, desmontables, para el transporte de la remolacha que en sus propiedades se producía, á fin de alcanzar economía en los grandes gastos que dicho transporte le ocasionaba. Los brillantes resultados que obtuvo le decidieron á emprender la construcción de esta clase de material, y el agricultor se convirtió en industrial, adquiriendo el nuevo establecimiento desarrollo cada vez mayor, y llegando á un estado de prosperidad verdaderamente notable, dado el corto tiempo en que se ha verificado la evolución.

La Esposición universal francesa de 1878 fué para Decauville un

(*) En Bélgica el material antiguo sigue á cargo de los artilleros y el moderno al de los ingenieros

éxito, y todavía lo ha alcanzado mayor en la de 1889, hasta el punto de transformarse los hasta entonces llamados Establecimientos Decauville, en Sociedad anónima, con 20 millones de francos de capital.

Para dar idea del desarrollo que ha alcanzado la fábrica, diremos que hasta hoy ha suministrado más de 8000 kilómetros de vía, á casi todos los países, en Europa, Asia y África, y que en los últimos diez años ha vendido material de ferrocarriles portátiles por valor de 60 millones de francos.

Numerosas son las aplicaciones de los ferrocarriles Decauville, pero nosotros nos limitaremos á tratar, en este escrito, aquellas que interesan al ingeniero militar.

Prescindimos de la descripción del material, que es conocida de los Oficiales de Ingenieros, y se encuentra, con todo detalle, en los catálogos ilustrados que la casa Decauville remite, gratis, á cuantos lo pidan (*), y sólo nos ocuparemos en cuanto consideramos de novedad ó de útil y pertinente recordación.

36. Las interesantes aplicaciones á la guerra de los ferrocarriles portátiles, y el nombre alcanzado por el material Decauville, nos movieron á visitar la fábrica, establecida en Petit-Bourg, en una gran faja de terreno comprendido por la línea férrea de Paris-Lyon-Mediterráneo y el río Sena. **Visita á la fábrica.**

Partiendo de Paris, estación de Lyon, en el tren de la una y 30 minutos de la tarde, se llega á Corbeil á las dos y 30 minutos. Encuéntrase en esta estación un pequeño carruaje de tranvía, arrastrado por un caballo, que, circulando por una vía Decauville de $0^m,60$ de ancho, conduce, en pocos minutos, al establecimiento, á los visitantes, que siempre hay. Fuimos presentados á Mr. Emile Decauville, hermano del fundador de la fábrica, el cual puso á nuestra disposición al ingeniero holandés Mr. Cores de Vries, y él mismo, después, con amabilidad suma, nos hizo presenciar algunas experiencias que, en nuestro obsequio, ordenó para hacer ver las condiciones del material militar, y de que más adelante daremos cuenta.

La línea férrea de Paris-Lyon-Mediterráneo enlaza con los talleres

(*) Véase el "Catalogue illustré du Decauville.—Aout 1890.—Etablissement Decauville á Petit-Bourg (Seine et Oise).—France."

por un ramal que penetra en una gran crujía, cubierta, que hace de embarcadero, y en la que se hace la carga y expedición de los productos de la casa, que próximamente pueden estimarse en 3000 vagonetas y 150 kilómetros de vía cada mes. Un gran número de vías Decauville ligan los diversos talleres, hacen el servicio del interior de éstos y el del campo próximo, donde se halla aparcada gran cantidad de material.

Los talleres de carpintería no tienen nada de notable: bien es verdad que la madera entra por poco en el material de ferrocarriles portátiles. Máquinas acepilladoras, acanaladoras de tablas, para machi-embrar, máquinas de aserrar, cajear, etc.

El taller de construcción de material fijo y de vagonetas, es de grandes dimensiones, como que mide más de 18.000 metros cuadrados.

Los trozos de vía, ó bastidores, de forma y dimensiones variables, constan, como es sabido, de dos filas de carriles de acero, tipo Vignole, unidos invariablemente á un cierto número de traviesas, también de acero, cuya sección transversal es de forma de U invertida.

Para las vías militares, según proyecto del Comandante de Ingenieros Péchot, adoptado por el ministerio de la Guerra francés, las traviesas en U están cerradas por los extremos á la estampa, con el fin de que se aseguren mejor al balasto ó al terreno, y tenga la vía mayor estabilidad en sentido transversal (*).

El establecimiento Decauville no produce las primeras materias. Los carriles y las vigas laminadas en U para traviesas, se fabrican en el Creusot y en Isbergues (Pas de Calais).

Cortadas las vigas en U (fig. 1) en trozos de la longitud conveniente, según la anchura que ha de tener la vía, se lleva á la temperatura del rojo los extremos de cada trozo (*A*) (fig. 2), y aplicados á un yunque especial, una estampa, animada, en sentido vertical, de movimiento rectilíneo alternativo, les imprime la forma cilíndrica (*B*). Otra máquina corta las rebabas *a a* que forma la estampa en la base, y queda el extremo de la traviesa con la forma definitiva (*C*).

(*) Una de las primeras aplicaciones de estas nuevas traviesas se hizo en nuestra Academia de Ingenieros, en la vía Decauville, de $0^{m},50$ de ancho, que para instrucción de los alumnos se estableció en los terrenos llamados de la Huerta. Hay curvas de 20 metros de radio y rampas hasta de 30 milímetros. Circula una locomotora de 3,5 toneladas.

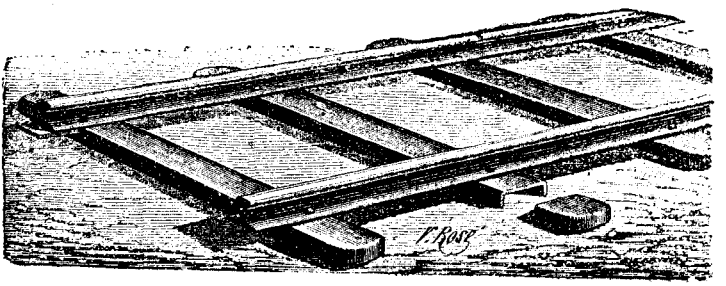


Fig. 1.

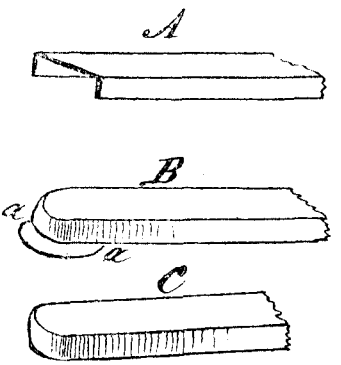


Fig. 2.

Unas máquinas de taladrar, que pueden situar á distancias variables los taladros, hacen, en traviesas y carriles, los agujeros para el paso de los roblones que han de unir estas piezas.

Se arman los bastidores introduciendo los roblones correspondientes, que unen los carriles á las traviesas, de modo que la cabeza única del roblón quede situada debajo, y la que ha de formarse en el remache resulte en la parte superior (fig. 3). Los roblones son de acero dulce, de excelente calidad y su remache se hace en frío.

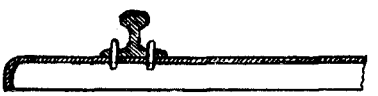


Fig. 3.

Armado el bastidor se lleva á la máquina remachadora (fig. 4), compuesta de dos brazos *a*, que se mueven verticalmente, á un tiempo, entre

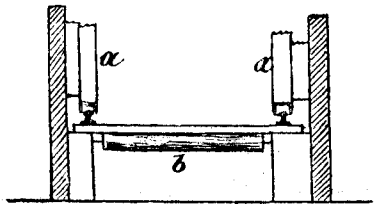


Fig. 4.

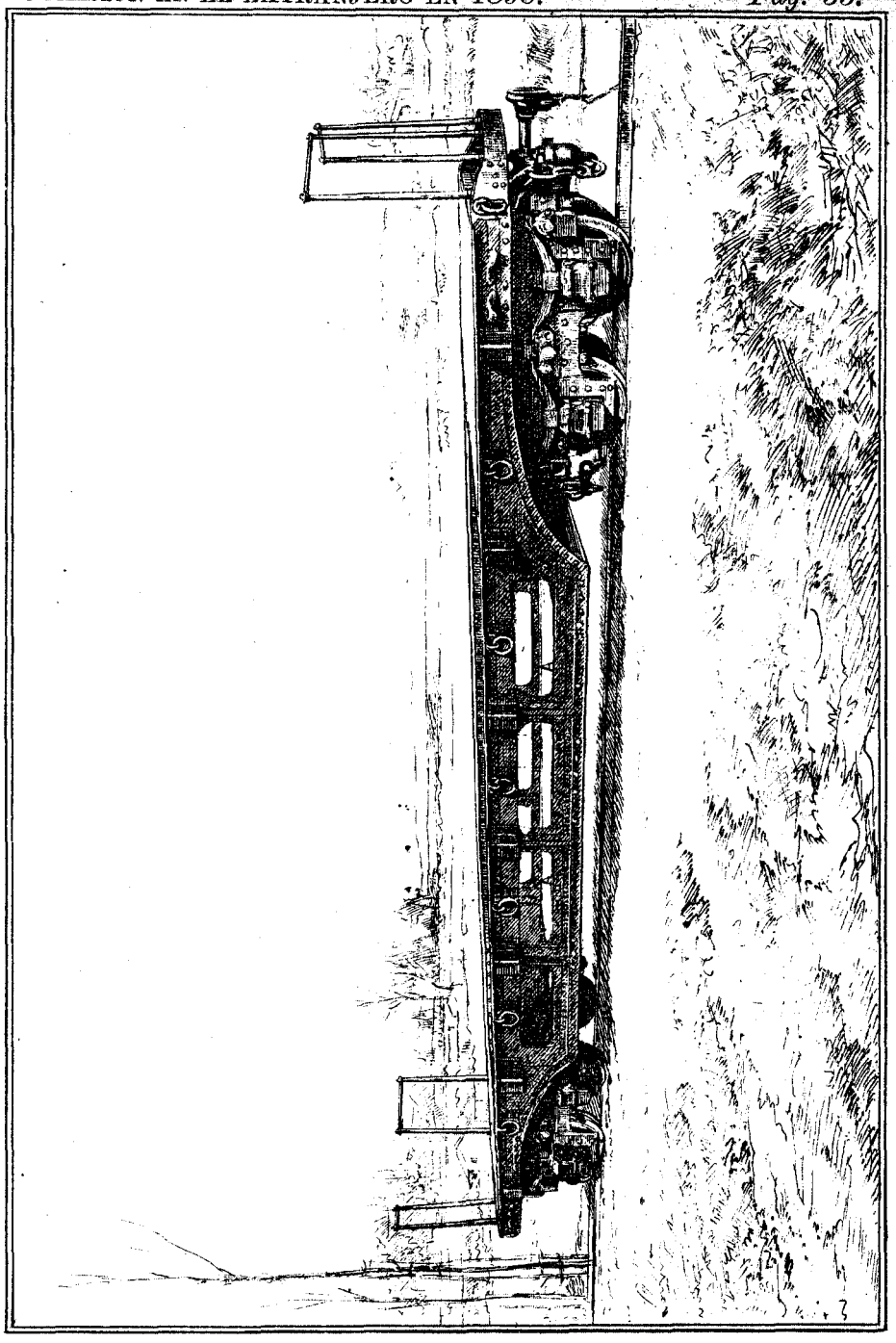
guías, y lleva cada una las estampas correspondientes. El bastidor corre fácilmente sobre rodillos *b*, y se detiene cuando cada traviesa viene á situarse debajo de las estampas. Bajan éstas y el remache queda hecho. La operación es rapidísima.

Para demostrar la resistencia de la roblonadura, hicieron á presencia nuestra una prueba, que consistió en golpear violenta y repetidamente, con gruesos machos, una traviesa en la parte inmediata á su unión con el carril, hasta que aquella se abolló, por cierto sin agrietarse lo más mínimo, dando con esto al mismo tiempo prueba de la bondad del acero. Los roblones inmediatos permanecieron inalterables.

Colocadas las placas y bridas de unión en los extremos correspondientes de los carriles de cada bastidor, pasa éste á una máquina muy ingeniosa que pinta carriles y traviesas en un corto número de segundos. El bastidor corre sobre rodillos, penetra por un lado de la máquina y sale completamente pintado al óleo por el otro.

El material destinado á la Marina se pinta con mínio, y el de Guerra (artillería) con color de chocolate. La Artillería exige que se pinte con mínio antes de emplear la máquina citada, y antes de hacer las roblonaduras, la zapata de los carriles y la cara superior de las traviesas, en la parte de superficie de contacto ó común á ambas piezas, con el fin de evitar su oxidación. Con el mismo objeto llevan las traviesas, en el centro de la superficie de contacto con la zapata del carril, un pequeño taladro para dar salida al agua que pudiera introducirse en estos sitios.

Para los bastidores de curvas hay máquinas de curvar, que dan á los carriles, antes de unirlos á las traviesas, la forma conveniente.



En el mismo taller se encuentran: máquinas para la fabricación de pernos, tuercas y tornillos, roblones, etc.; sierras; tijeras para los palastros, otra grande, que corta gruesas barras cilíndricas de donde forman los ejes de las vagonetas y carruajes; fraguas, martillos-pilones, etc. Omitimos su descripción porque no presentan novedad, ni por sus organismos ni por su potencia.

Los talleres de calderería y de montaje de vagonetas, carruajes y máquinas, no ofrecen tampoco novedad alguna, y su organización y herramienta son las de los similares en esta clase de trabajos, y aun de menor importancia que las de otros, por tratarse de material de dimensiones pequeñas.

Tenían aparcadas 140 toneladas de bastidores de carriles para la artillería francesa, que ha hecho considerables pedidos de vía de $0^m,60$ con traviesas Péchot para las plazas fuertes, especialmente para las de la frontera alemana. Hasta la fecha de nuestra visita había entregado la fábrica al Cuerpo de Artillería más de 500 kilómetros de vía. Con destino al Tonkin el ministerio de Marina tenía hechos también considerables pedidos, de los que una parte estaba aparcada y en disposición de entregarse.

37. En las inmediaciones de los talleres existe un vasto campo, que recorrimos en un pequeño tren remolcado por una locomotora Mallet, de 12 toneladas. En el campo, cruzado por varias vías de $0^m,60$, está aparcada considerable cantidad de material móvil Decauville para usos civiles y militares. Vagones y carruajes de todas clases, plataformas para la conducción de grandes pesos, en una palabra, toda la variedad de material que se halla descrita en los catálogos de la fábrica, y que por esta razón no describimos. Haremos mención tan sólo de la plataforma para grandes pesos, que está representada en la lámina adjunta y no figura en los catálogos citados.

Es de palastro de acero, y tiene un piso inferior *A*. Está montada sobre dos bogías de cuatro ruedas, y como la carga total es de 10 toneladas, el peso, por eje, no llega á 3000 kilógramos. Es aplicable á la vía de $0^m,60$ y á los fines militares.

38. Cuanto al material militar que la fábrica construye, recordaremos los principales tipos.

1. Bastidores de vía, de 0m,60 de anchura, con carriles de 9,5 kilógramos de peso por metro lineal. Los trozos de 5 metros de longitud llevan ocho traviesas de sección U invertida, sistema Péchot, de 0m,140 de ancho, 0m,029 de altura y 1m,100 de longitud total (fig. 5.). La forma

Fig. 5.

de los extremos es dada por dos arcos de circunferencia de 50 milímetros de radio, unidos por una recta tangente á ambos, de 40 milímetros. Las traviesas tienen 0m,200 de salida lateral por ambos lados del bastidor, á partir del borde exterior de la zapata del carril. Esta vía fué adoptada en Francia por el ministerio de la Guerra con preferencia á la de un metro, á consecuencia de las experiencias verificadas en Toul, y se han expedido 20 kilómetros á Madagascar (cuerpo de ocupación de Diego Suárez) y 56 kilómetros á Massaouah (tropas italianas de ocupación).

De este mismo tipo era la vía de 3 kilómetros que en la Exposición universal francesa de 1889 estableció Mr. Decauville con tanto éxito entre el campo de Marte y la explanada de los Inválidos (Paris).

2. Material móvil articulado Péchot.—Este material, descrito ligeramente en el catálogo ilustrado Decauville (páginas 44 y 45), del que tomamos las figuras adjuntas (6, 7 y 8) para su completa descripción y perfecta inteligencia de cuanto sigue, es excelente y de interesantes aplicaciones para el transporte de cargas de longitud y peso grandes, como, por ejemplo, cañones de grueso calibre. Tuvimos ocasión de ver su modo de funcionar, y no deja nada que desear, consiguiéndose con facilidad suma la traslación de pesados fardos, por lugares estrechos y caminos tortuosos, combinando, al efecto, en la vía de 0m,60 las curvas de radio reducido y las plataformas giratorias de 1m,30 de diámetro.

Los carretones sencillos pueden ser de dos ejes, de tres ó de cuatro (figuras 6, 7 y 8).

En la plataforma hay unas carriladas circulares *A* (fig. 6) sobre las que gira al rededor de un eje vertical central, apoyada sobre roldanas,

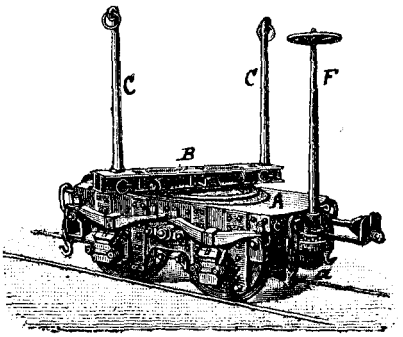


Fig. 6.

la solera *B*, provista de los montantes *C*, destinados á asegurar lateralmente la carga. El freno *F a*, cuya barra *F* provista de volante puede desenchufarse de la parte *a* fija al bastidor del carretón, tiene acción sobre las cuatro ruedas, moviendo las almohadillas correspondientes aplicadas á las llantas.

Los carretones de tres ejes (fig. 7) y los de cuatro ejes (fig. 8), están

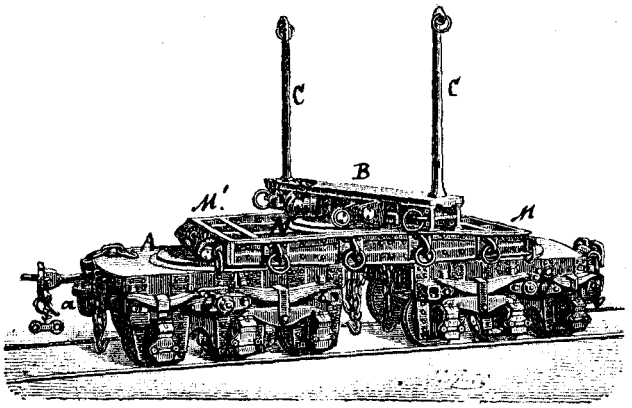


Fig. 7.

organizados de idéntica manera, diferenciándose solamente de los dos ejes, á parte de dimensiones mayores del bastidor, en el sistema de sus-

pensión de éste, que se efectúa por medio de balancines longitudinales semejantes á los empleados en las loc-o motoras, que tienen por objeto repartir uniformemente la carga sobre los ejes de un mismo carretón.

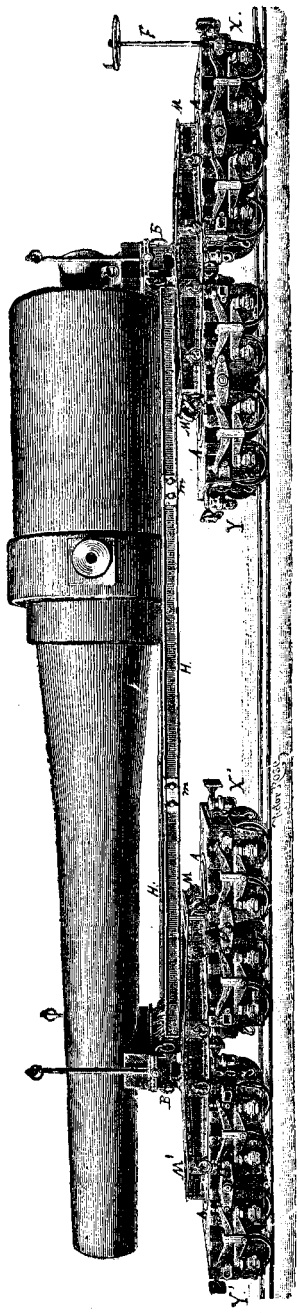


Fig. 8.

Pueden acoplarse dos carretones, según se ve en las figuras 7 y 8, y entónces se coloca sobre ellos una plataforma *M′ M*, cuyos cabeceros extremos tienen como eje de giro el de cada uno de los carretones. La plataforma lleva unos carriles circulares *A*, al rededor de cuyo centro gira la solera *B*. Resulta de esta disposición, la siguiente combinación de movimientos (fig. 8): colocado el carretón *X* sobre una plataforma giratoria de la vía, se le hace girar hasta situarlo en la nueva dirección, durante cuyo movimiento permanecen inmóviles el carretón *Y*, plataforma *M′ M* y solera *B*. Muévese después el carretón *X* en la nueva vía, con lo cual avanza el *Y* hasta colocarse en la plataforma giratoria, y se efectúa la rotación de *Y*. Durante este movimiento, la plataforma *M′ M* ha efectuado pequeñas rotaciones al rededor de los pivotes de giro de los cabeceros, y lo mismo ha sucedido á la solera *B*. Colocados los dos carretones conjugados *X* é *Y* en la nueva dirección, se mueven en ella hasta que el *X′*, primero de los del grupo posterior, se sitúe en la plataforma giratoria y se repitan las operaciones precedentes.

Los dos grupos de carretones X Y y X' Y', están unidos por los dos tirantes H, compuesto cada uno de varios trozos empalmados en m, hasta conseguir la separación proporcionada á la longitud de la pieza que se transporta.

Sobre cada eje del carretón puede cargarse un peso de 3 toneladas, de modo que en la disposición representada en la figura 8 es posible hacer el transporte de piezas de 48 toneladas de peso.

3. Locomotora.—Mr. Mallet, ingeniero autor de la primera aplicación del sistema *compound* á las locomotoras, ha creado con destino á las vías militares portátiles Decauville de $0^m,60$ y de $0^m,75$, una locomotora articulada de cuatro cilindros y dos bogías de cuatro ruedas cada una, que le permiten circular por curvas hasta de 20 metros de radio. Estas locomotoras, cuyo precio es de 26.500 pesetas para vía de $0^m,60$, y 26.700 pesetas para la de $0^m,75$, pueden remolcar 280 toneladas en rasante de nivel, 96 toneladas en rampa de 10 milímetros, 10 toneladas y 5 toneladas, respectivamente, en las de 60 y 80 milímetros.

Otra de las locomotoras que construye la casa Decauville, para vías militares de $0^m,60$ y de $0^m,75$, es la articulada sistema Péchot-Bourdon, de cuatro cilindros y dos bogías de cuatro ruedas. Este tipo, que recuerda el del ingeniero Fairlie, es de hogar central, caldera única y dos chimeneas. Puede circular por curvas de $0^m,20$ y rampas hasta de 80 milímetros.

Tanto esta locomotora como la anterior están indicadas para terrenos accidentados, y como la carga estática sobre carriles es de 3 toneladas por eje, pueden recorrer la vía de carriles de 9,50 kilógramos por metro lineal con 8 traviesas Péchot por bastidor de 5 metros de longitud.

39. Terminada la visita á los talleres y al material construido y en construcción, Mr. Emile Decauville ordenó se hiciesen, á nuestra presencia, algunas experiencias demostrativas de las cualidades de rapidez de asiento y adaptación á terreno accidentado del material militar. Experiencias.

Hallábase situado en C un cañón de fundición de hierro, de peso de 3 toneladas, montado sobre dos carretones articulados Péchot, de dos ejes, del tipo representado en la figura 6. Conducido á la vía de H N de $0^m,60$ (fig. 9) que para el servicio de la fábrica está asentada permanentemen-

te, se transportó el cañón á *B*, haciendo uso de la placa giratoria permanente *A*.

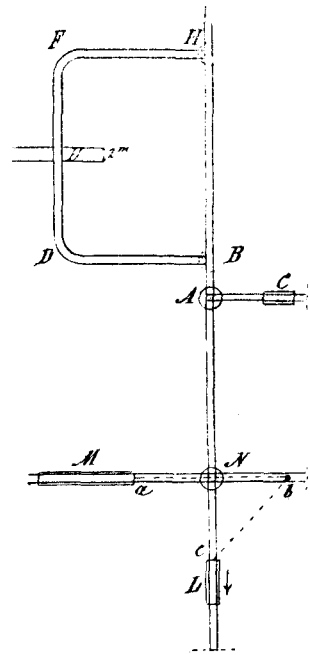


Fig. 9.

Seis hombres provistos de 10 bastidores de vía de $0^m,60$, rectos unos y curvos otros, de 20 metros de radio, asentaban la vía, sobre el terreno natural, á partir de *B*, en la dirección *B D*. Hízose el cambio de dirección en *B*, por medio de una placa giratoria portatil (tipo representado en la figura 33 del catálogo, pág. 9) y de unas encarriladeras (figuras 16 y 17 del catálogo).

Levantando los bastidores de vía de atrás, y colocándoles en la parte anterior, se transportó el cañón por el camino *B*, *D*, *F*, *H*, hasta empalmar en *H* con la línea fija *H A*, por medio de la placa giratoria portátil y encarriladeras antes citadas.

El desarrollo de *B*, *D*, *F*, *H* es de unos 200 metros y la operación se terminó en doce minutos. El terreno era duro en la parte *B*, *D*, *E*, y blando y desigual en la *E*, *F*, *H*.

En *E* se salvó un pequeño foso de 2 metros de luz, poniendo simplemente el bastidor recto de carriles apoyado en los extremos. Se flexó como es natural al paso de los carretones que conducían el cañón, pero la flecha fué perfectamente elástica, desapareciendo cuando las cargas dejaron de obrar.

Para hacer ver las condiciones de los carretones articulados Péchot, se hizo uso de un modelo, en tamaño natural, de cañón de Bange, de 48 toneladas de peso, montado sobre dos grupos de carretones de cuatro ejes cada uno.

Situado el cañón en la vía *M N* (fig. 9) se enganchó al carretón delantero un cable *a b c*, que pasando por la polea de cambio *b* fija al terreno, terminaba en la traviesa delantera del bastidor de una locomotora Mallet *L*.

Haciendo marchar la locomotora en sentido de la flecha, y después de la serie de operaciones descritas en el número 38, se situó el cañón en cinco minutos sobre la vía general *A N*. Formado un tren con el cañón, un carruaje de viajeros y la locomotora, circuló con gran facilidad por una vía muy tortuosa y de pendientes fuertes, como lo demuestra la figura 10, que representa una pequeña parte del trazado. *A B* es una

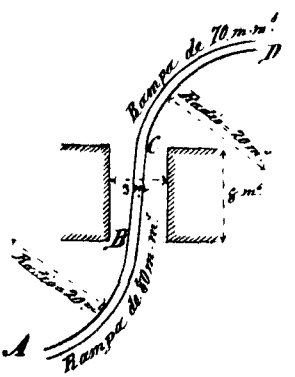


Fig. 10.

curva de 20 metros de radio, en rampa de 80 milímetros; *B C*, un alineamiento recto de 8 metros de longitud, inscrito en dos estribos de fábrica, á distancia de 3 metros; y *C D* es una contracurva de 20 metros de radio y rampa de 70 milímetros.

La experiencia demostró las excelentes cualidades del material fijo y móvil en que nos ocupamos, y su facil aplicación al terreno, en una plaza fuerte, ó en el campo.

Exámen crítico del material Decauville.

40. Tres aplicaciones militares principales tiene el material Decauville:

A los trabajos de explanación, al servicio de la artillería en las plazas fuertes, y finalmente, á la construcción de vías férreas en campaña.

El material Decauville tiene utilísimo empleo en los trabajos de explanación, y la facilidad y economía que con él se obtienen en los grandes movimientos de tierra son tan universalmente reconocidos que creemos inútil insistir en su demostración. No solamente para desmontes tan colosales como los realizados en el istmo de Panamá, en donde se ha hecho uso de 107 kilómetros de vía Decauville y de 6200 vagonetas, sino para explanaciones de menor importancia, el empleo de estos medios de transporte produce notable economía de tiempo y de dinero.

Para el servicio de la artillería en las plazas fuertes, el material articulado Péchot, y la vía de $0^m,60$ han dado, en Francia, excelente resultado. Después de las experiencias realizadas en Toul, con grande éxito, la artillería francesa adoptó como reglamentario este material, del cual han construido, con este fin, grandes cantidades.

No cabe duda de que ha de prestar muy buenos servicios, y todo el que haya visto con qué dificultad se transportan para colocarlos en batería los pesados cañones, por los medios ordinarios, apreciará mejor las ventajas que resultan de disponer de un material semejante.

Conviene observar, sin embargo, que estas vías férreas pueden tener dos usos diferentes, según que se emplean como material móvil, transportable, ó como vías permanentes. En el segundo caso creemos preferible la vía de $0^m,75$ y carriles de 12 kilógramos de peso por metro lineal, á fin de que, permitiendo el paso de locomotoras más poderosas que las de 12 toneladas, sistemas Mallet y Péchot-Bourdon, aunque del mismo tipo, sea posible obtener potencia de tracción suficiente para mover grandes pesos en terrenos accidentados, como los que se encuentran con frecuencia en las plazas fuertes.

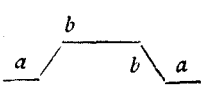
Si la movilidad de la artillería en la defensa se entiende del modo propuesto por Mougin, Creuzé de Latouche y otros muchos ingenieros,

esto es, que las piezas sobre sus afustes de eclipse ó acorazados puedan moverse á lo largo de una masa cubridora, sin que su servicio se interrumpa durante el fuego, la vía sobre la que han de correr las plataformas que la soportan debe tener mayor anchura en beneficio de la estabilidad.

Como material de campaña, para el rápido establecimiento de vías férreas que sirvan para el transporte de tropas, víveres y municiones, el material Decauville puede prestar buenos servicios.

Las características del sistema Decauville, en cuanto al material fijo, son la unión invariable de los carriles y traviesas, formando bastidores fácilmente transportables, la bondad y sencillez del material y mano de obra, y la baratura. El material móvil permite adaptar la vía á terrenos accidentados, empleando curvas de radio reducido y rampas hasta de 80 milímetros de inclinación.

Mr. Decauville, que en un principio fijó en $0^m,50$ la anchura de estas vías, comprendió que con ella la estabilidad de los carruajes, y especialmente de la locomotora, eran insuficientes, y se decidió por la vía de $0^m,60$, que es la anchura que tiene el famoso ferrocarril de Festiniog (Pais de Galles). La anchura de $0^m,60$ es un límite inferior que no debe rebasarse, si se quiere conseguir la estabilidad necesaria, no solamente en el material móvil, sino también en el fijo.

Para dar estabilidad en sentido transversal á la vía, emplea Mr. Decauville las traviesas en ⊓ con extremos cerrados. Los bordes de la traviesa se introducen en el terreno ó en el balasto, y esta es la causa de preferencia de esta forma á la 

semejante á la Vautherin, empleada en vías de anchura normal. En la segunda de estas formas, los ángulos obtusos *b* se abren al paso de las cargas, y los rebordes planos *a* desagregan el balasto ó terreno base, mientras que con la primera forma, la traviesa se ancla perfectamente al terreno, formando cuerpo con el macizo *H*, limitado por los planos *M N*. Si á esto se agrega la acción del balasto *T* (fig. 11) colocado al exterior del carril, sobre los 20 centímetros de longitud de traviesa que rebasan lateralmente al bastidor, se habrá conseguido dar á las traviesas una masa de que carecían, suficiente para oponerse á los movimientos en todos sentidos.

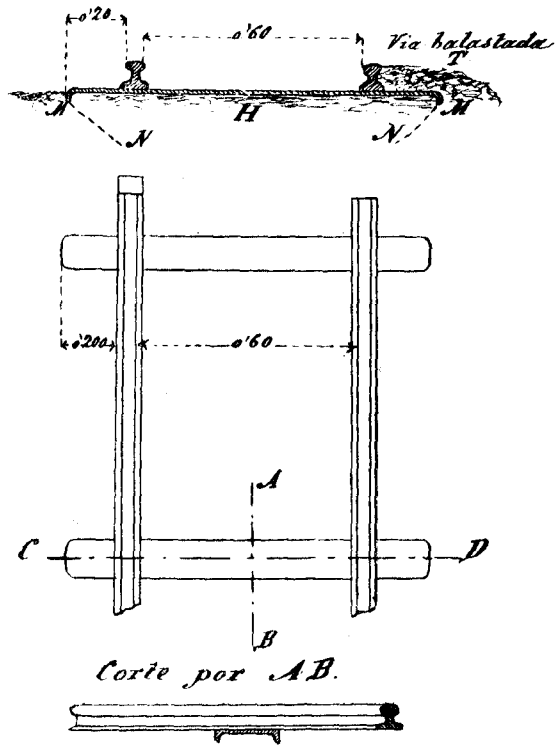


Fig. 11.

Esto exige que la plataforma de asiento de la vía esté formada por un terreno de dureza y compresibilidad uniformes, pues de lo contrario las traviesas de un mismo bastidor penetrarán de un modo desigual y la vía resultará sin apoyo en algunos puntos, con los inconvenientes que son consiguientes al pasar los carruajes.

La unión invariable de carriles y traviesas presenta el defecto de hacer demasiado rígidos los bastidores, y de aquí nacen grandes dificultades para colocarlos en el plano de rasantes conveniente, pues cuando se batea por un lado se levanta todo el bastidor correspondiente á la traviesa bateada.

Eliminados estos inconvenientes, la vía tiene resistencia suficiente para un tráfico activo, y la mejor prueba que en apoyo de esta opinión puede presentarse es el resultado obtenido en la pequeña línea de 3 kiló-

metros de longitud establecida en Paris en la Exposición universal de 1889. Durante seis meses circularon por esta vía más de 6 millones de viajeros, en 42.500 trenes, que suponen un peso arrastrado de 1.200.000 toneladas. La vía, que era de $0^m,60$ y carriles de 9,5 kilógramos, presentaba rampas de 30 milímetros, curvas y contracurvas de 30 metros. La velocidad media de los trenes fué de 23 kilómetros por hora. No hubo el más ligero desperfecto anormal en el material fijo y móvil, y el desgaste de las cabezas de los carriles llegó tan solo á $0^m,0004$.

No cabe duda, por tanto, que este pequeño material es susceptible de dar un tráfico activo, y los servicios que podrá prestar en la guerra, en muchas circunstancias, son valiosísimos. Es, relativamente, ligero, y por tanto transportable; su asiento rapidísimo puede hacerse ya sobre el terreno natural, mediante pequeñísimas explanaciones, ya sobre las carreteras construidas. Los puentes y obras de arte que exige son de poca importancia, no solamente por el pequeño peso y dimensiones del material, sino porque la facilidad de su adaptación al terreno permite salvar los obstáculos que se presenten en el trazado, por los puntos más convenientes. Es económico, como que para una línea de 20 kilómetros, y dos trenes por día en cada sentido, comprendiendo todo el material fijo, 10 vagones de viajeros (de 12 asientos), 18 de mercancías (de 2 á 2,5 toneladas de carga útil) y dos locomotoras Péchot-Bourdon, ó Mallet, el precio no excede de 14.000 pesetas kilómetro.

Resumiendo, creemos que este material es de interesante empleo en las operaciones militares y muy conveniente tenerlo en cuenta para las aplicaciones que en su día pudiera recibir en nuestro país, tanto en la Península como en nuestras colonias y provincias de Ultramar.

Experiencias realizadas en "El Creusot"

en los días 21 á 23 de octubre de 1890.

41. Para la defensa de la línea del Mosa los belgas están construyendo un gran número de fuertes en las plazas de Lieja y Namur, y con arreglo á las ideas de Brialmont estos fuertes han de estar provistos de Objeto.

torres metálicas, cuya construcción encomendó el gobierno belga á las industrias francesa y alemana, distribuyendo los pedidos entre las fábricas Gruson, Saint-Chamond y el Creusot.

Correspondió á este último establecimiento el suministro de diez torres para dos cañones de 15 centímetros, dos de ellas destinadas á Amberes y las ocho restantes á las fortificaciones de Lieja.

El General Brialmont dió las líneas generales de la organización de estas torres. Según el pliego de condiciones, una vez construída la primera de ellas debía ser experimentada en el Creusot, para su recepción provisional, teniendo lugar, ántes de la recepción definitiva, una segunda experiencia en Bélgica, en el mismo lugar de su colocación definitiva, utilizando estas pruebas para ordenar á la fábrica las modificaciones de detalle á que hubiera lugar, si se creían necesarias, en las torres restantes que se están construyendo. Cuanto al armamento de Amberes, en las modificaciones y aumentos que hayan de hacerse, Bélgica se proponía dar la preferencia al establecimiento en que se hubiesen realizado más satisfactoriamente las condiciones técnicas impuestas en los contratos.

Para las experiencias preliminares de la recepción provisional, fué nombrada una comisión belga, presidida por el General de Artillería Mr. Wauters, y compuesta del Coronel de Ingenieros Tournay y Capitanes de Artillería Raimond y Saurel.

Estas experiencias tuvieron lugar los días 21 á 23 de Octubre de 1890, á presencia de un gran número de oficiales franceses y de comisiones del ejército y marina de Chile, España, Estados-Unidos, Holanda, Japón, Suecia y Suiza.

Durante los días de nuestra permanencia en el Creusot tuvimos ocasión no solamente de presenciar las experiencias citadas sinó también de visitar los vastos talleres de tan importante establecimiento, y del resultado de nuestras observaciones damos cuenta á continuación.

VISITA Á LOS TALLERES Y POLÍGONO.

Importancia.

42. El establecimiento metalúrgico conocido con el nombre de *El Creusot* es el más importante de Francia, y uno de los primeros del mun-

do. Cuenta con minas de hulla en Montchanin y Longpendu (Saône et Loire), la Machine (Nièvre) y Montand-Saint-Etienne (Loire); con minas de hierro en Mazenay (Saône et Loire), Laissey (Doubs), Allevard (Isère) y Saint-Georges (Savoie), y con una fábrica de productos refractarios en Perreuil (Saône et Loire).

El Creusot fabrica el cok, fundición de hierro y de acero, toda clase de hierros laminados, palastros, planchas de todos gruesos, todo el material fijo y móvil de vías férreas, incluyendo locomotoras de todos los tipos y tonelajes; construcciones metálicas de toda especie, tales como armaduras, puentes, etc.; barcos de vapor para la navegación fluvial; máquinas de vapor fijas, marinas, locomóviles, máquinas-herramientas de todas clases, placas de blindaje, torres y baterías acorazadas; cañones, montajes, etc., etc.; en una palabra, el Creusot está en disposición de satisfacer todos los pedidos que se le hagan referentes á cuantas aplicaciones civiles y militares puedan recibir los materiales metálicos, fundición de hierro, hierro y acero. Desde que la mena de hierro penetra por el tragante de los hornos altos hasta que se obtiene uno de los productos ántes indicados, todas las interesantes operaciones de transformación son ejecutadas en la fábrica, que, con sus grandes recursos y potente herramienta, se basta á sí propia.

Más de 17.000 obreros están empleados en el establecimiento, que cuenta también con 350 kilómetros de vía férrea, 30 locomotoras y 1600 vagones, para su servicio especial, y encierra 1050 máquinas-herramientas, entre ellas 60 martillos-pilones, movidas por 290 máquinas de vapor de una fuerza total de 15.000 caballos.

La capacidad de producción del establecimiento, suponiendo en marcha todos los aparatos, es de:

Hulla.	700.000	toneladas.
Fundición..	200.000	»
Hierros y aceros.	160.000	»
Talleres de construcción.	30.000	»

La historia del Creusot está unida, en muchos puntos, con la del progreso de la metalurgia y de la industria. El Creusot construyó la primera locomotora en Francia en 1838, y barcos de vapor en 1839 para el

Saona y el Ródano. El inventor del martillo-pilón, Mr. Bourdon (1840), fué ingeniero de la fábrica. La clasificación metódica y racional de los hierros y aceros dada á luz por el Creusot en 1867, fué casi universalmente aceptada. En 1876 Mr. Schneider instaló el enorme martillo-pilón de 100 toneladas, y en 1879 se hizo aplicación, por primera vez en Francia, del procedimiento de desfosforación ó eliminación del fósforo en los convertidores Bessemer, que los ingleses Thomas y Gilchrist habían comunicado en 1878 al *Iron and Steel Institut.* Hace un año funciona una prensa hidráulica de 2000 toneladas de fuerza, excelente aparato de forja de los gruesos lingotes.

El ya citado Mr. Bourdon, Mr. Bouvard, inventor del horno rotatorio de su nombre, Mr. Barba, conocido por sus interesantes trabajos sobre el acero, y otros muchos nombres que ocupan lugar distinguido en la ingeniería, figuran en el cuadro de los ingenieros que el Creusot ha tenido.

Hullas y cokes. *43.* Las minas explotadas por el Creusot pertenecen á la importante cuenca hullera del Centro (Francia), y de ellas se obtienen hullas semigrasas y hullas secas antracitosas de llama corta. Estas últimas, juntamente con otras, grasas, de la cuenca del Loire, se aplican á la fabricación del cok.

La coquificación se hace en el mismo establecimiento, empleando hornos belgas horizontales y hornos Appolt, con los que se obtienen, cada veinticuatro horas, unas 520 toneladas de cok denso, bien aglutinado y muy poco sulfuroso, propiedad importantísima para su aplicación á la reducción de las menas de hierro en los hornos altos, porque así el combustible no aportará al lecho de fusión proporción sensible de azufre, pernicioso metalóide que produce cavernas y hoquedades en la fundición, que hace á los hierros agrios en caliente, y muy difícil el laminado y martillado de los aceros.

Menas de hierro. *44.* Empléanse en los hornos altos del Creusot las menas siguientes:

Peróxido hidratado de las minas de Mazenay (propiedad de Mr. Schneider). Su ganga es caliza. Es un mineral pobre, de un rendimiento medio de 28 por 100, y da hierros de inferior calidad si se emplea solo.

Hierro oligisto, excelente, de la isla de Elba.

Hierros espáticos (hierro carbonatado cristalino) de Saint-Georges (Sa-

boya) y de Allevard (Isère), de las minas que son propiedad del establecimiento. Son minerales manganesíferos muy estimables.

Campanil, muy puro, de Bilbao, de un rendimiento de 50 por 100. Muy buen mineral como es sabido.

Oxido magnético de Motka-el-Hadid (Argelia), que contiene una pequeña cantidad de peróxido anhídro. Excelente mineral de un rendimiento hasta de 65 por 100, que produce hierros comparables á los de Suecia.

No emplean siempre el campanil de Bilbao, ni la mena argelina, porque son muy caras. Su mezcla con los otros minerales y la proporción en que entran dependen de la bondad del producto que haya de obtenerse.

45. Hay trece, unos con revestimiento exterior de ladrillos, y otros, los más modernos, de envolvente metálica, del tipo escocés. Algunos tienen, para la mejor distribución de las cargas de combustible y del mineral, aparatos de tolva y cono, fijados á los tragantes. A la altura de éstos y para facilitar la carga, existe una plataforma de 12 metros de altura y 500 metros de longitud. **Hornos altos.**

Todos los hornos marchan al cok, y producen en total 500 toneladas de fundición al día. Se emplea el aire caliente, suministrado por las siguientes máquinas:

Tres máquinas horizontales de gran velocidad.

Cuatro máquinas verticales de acción directa, de 200 caballos cada una, y

Dos máquinas verticales de 250 caballos.

La calefacción del aire, hasta 600 grados, se opera en hornos del tipo Siemens, utilizando los gases combustibles procedentes de los tragantes de los hornos. Dos chimeneas, una de 75 metros de altura, de ladrillo, y otra de palastro (patente de la casa) de 85 metros de elevación, producen el tiro necesario á los hornos.

46. Afínase la fundición obtenida en los hornos altos, por el pudlado, en dos grandes edificios que contienen 100 hornos de pudlar. Los hornos están colocados en herradura, en cada uno de los dos edificios, y en el espacio central están instalados dos grupos de nueve martillos-pilones. Hay también cuatro trenes de laminadores de desbastar, movidos por cuatro máquinas horizontales de 200 caballos cada una. **Talleres de pudlado.**

Los lingotes de fundición son conducidos á la plaza de los hornos de pudlar, y por la decarburación de la masa líquida se obtienen las bo-

las de hierro, ó zamarras, que se forjan en los martillos-pilones, haciendo la soldura de las partes de hierro expulsando las escorias, y obteniéndose por este cinglado los tochos, que á su vez se convierten en barras de hierro bruto, que todavía contienen algunas escorias, haciéndolos pasar por los laminadores de desbaste.

Los gases procedentes de los hornos de pudlar, son utilizados para la producción de vapor, á cuyo efecto, dichos gases, á su salida del horno, son conducidos á chimeneas verticales (una por cada cierto número de hornos), en cuyo eje está colocada una caldera de vapor, vertical. Los gases calientes pasan por el espacio anular que queda entre la superficie cilíndrica exterior de la caldera y la interior de la chimenea y salen al aire libre por dos pequeñas chimeneas de palastro, provistas de registros correspondientes, que arrancan de una plancha que cierra la boca de la chimenea principal de ladrillo.

Empaquetado y laminado.

47. El taller de laminado es verdaderamente sorprendente. Tiene 380 metros de longitud y 100 metros de ancho, y está dividido, por medio de columnas, en cinco grandes crujías de 20 metros de luz.

Hácese en estos talleres el empaquetado de las barras de hierro bruto, para acabar de refinar el metal expulsando las escorias que aún contiene, sometiendo al efecto los paquetes á la temperatura del blanco soldante, en hornos de recalentado, de reverbero, en los cuales se utilizan los gases para la calefacción de calderas verticales de vapor colocadas en las chimeneas (como los hornos de pudlar ya citados anteriormente) con el fin de mover los aparatos laminadores.

A un lado de los inmensos talleres, están situados, en una larga fila, los hornos de recalentado, y en el centro los trenes de laminadores, en número de veinte, de los cuales doce se dedican á la fabricación de carriles y de hierros perfilados, de todas formas, y los ocho restantes al laminado de palastros de todas clases.

Los laminadores de barras perfiladas trabajan generalmente en *duos*, si bien hay algunos *tríos*. Hay también laminadores universales.

Los tochos procedentes del pudlaje, empaquetados y calentados al rojo soldante en los hornos de reverbero, son llevados inmediatamente á los trenes de laminadores, que están movidos por 15 máquinas de vapor de fuerza total de 6000 caballos.

A nuestra presencia, y en breve tiempo, se hizo el laminado de una plancha de hierro de 23 toneladas de peso, que había de resultar de 200 milímetros de grueso, destinada al casquete blindado de una de las cúpulas para cañones de 15 centímetros que el Creusot construye para el gobierno belga. Formóse el paquete con planchas de 30 milímetros de espesor, y se laminó en laminador reversible, como es natural dada la dificultad de trasladar un peso tan enorme de uno á otro lado de los cilindros. Invirtiendo la marcha de éstos, se obtiene el movimiento rectilíneo alternativo de la plancha, que marchaba fácilmente rodando sobre rodillos de hierro fijados en el suelo del taller.

48. Estos talleres son importantísimos en el Creusot, por la bondad y enorme cantidad de productos obtenidos. En ellos se encuentran tres grupos de convertidores Bessemer, siete hornos Martin-Siemens y dos hornos rotatorios de pudlaje, sistema Bouvard. Empléanse los procedimientos básico y ácido. Talleres de fabricación de acero.

Sabido es que el fósforo ejerce perniciosa influencia en los aceros, hasta el punto que una proporción superior á 0,15 por 100 los hace impropios para la mayor parte de las aplicaciones industriales. Ahora bien, la experiencia tiene acreditado que el fósforo contenido en las menas de hierro, pasa casi íntegro al lingote de fundición obtenido en el horno alto, y no es eliminado tampoco de la masa de acero en el convertidor Bessemer; y como hay una considerable cantidad de minerales, baratos, que son fosforosos, resultaban inaplicables para la fabricación del acero. De aquí la importancia industrial del descubrimiento del procedimiento de desfosforación debido á los químicos ingleses Thomas y Gilchrist, conocido con el nombre de método básico, y que está caracterizado por las operaciones siguientes: Primera, empleo de un revestimiento dolomítico (carbonatos de cal y magnesia) de los convertidores, si se emplea el procedimiento Bessemer, ó de los laboratorios si se hace uso de los hornos Martin-Siemens: el objeto es obtener una escoria muy básica para la eliminación del fósforo; segunda, adición de cal apagada, al baño, para que la escoria se mantenga muy básica durante toda la operación; y tercera, resuflación, ó sea prolongación de la inyección de viento, con objeto de que puedan quemarse, y desaparecer, los restos de fósforo.

Como ya en otro lugar indicamos, el Creusot empezó los ensayos de

desfosforación en 1879. Hoy emplea el procedimiento básico en los convertidores Bessemer, utilizando al efecto la fundición procedente de los minerales de hierro de Mazenay, que son bastante fosforosos, como que los lingotes obtenidos en los hornos altos contienen más de un 2 por 100 de fósforo. Los aceros así fabricados resultan bastante puros, y se destinan generalmente para piezas del comercio.

En los hornos Martin-Siemens se hace uso del método ácido, empleando fundiciones procedentes de minerales ricos y puros, como los de Mokta-el-Hadid y Bilbao. Los aceros así producidos se dedican á piezas delicadas, de máquinas, ferrocarriles y á cañones.

Durante nuestra visita tuvimos ocasión de ver una operación en convertidor Bessemer. El revestimiento interior de éste lo forma un apisonado dolomítico. El viento que se inyecta por uno de los muñones de giro, es suministrado por dos potentes máquinas soplantes, de 1300 caballos de fuerza, y capaces de desarrollar hasta 2000 caballos. Los montacargas, grúas y demás aparatos auxiliares de fabricación están movidos por fuerza hidráulica, proporcionada por un acumulador que da presiones hasta de 20 atmósferas.

Calentado preliminarmente el convertidor, en su interior, y vertida en él la cal, al 15 por 100, y la fundición (6 toneladas), se da viento. Añádese de seguida 100 kilógramos de espatofluor y continúa la insuflacción.

El primer período de la operación está caracterizado por la ausencia de llamas. Corresponde á la combustión del silício, del carbono y de una pequeña cantidad de hierro. En el segundo período, en el que tiene lugar la verdadera decarburación, así como la combustión de una pequeña cantidad de fósforo, salen abundantes llamas por la boca del convertidor. Los largos penachos de llamas, el ruido del viento inyectado que atraviesa la masa metálica en fusión y el del tumultuoso hervor de ésta, constituyen un espectáculo interesante. Al finalizar el segundo período se hace girar al convertidor, paralizándose, por consiguiente, automáticamente la inyección del aire, para añadir á la masa cal en proporción de 4 á 5 por 100, á fin de obtener mayor fluidez en las escorias y una desfosforación más enérgica.

El tercer período, ó de resuflación, es el decisivo de la operación bá-

sica, por la combustión rápida del fósforo que se opera. Para ver cómo se ha operado la desfosforación, y si hay ó no necesidad de continuar dicho período, se vuelca el convertidor para recoger, en un caldero, un pequeño lingote de muestra, que se forja inmediatamente y se rompe.

El exámen de la fractura hace ver el grado de desfosforación, pues la presencia del fósforo se conoce por granos de acero brillantes y alargados muy visibles.

Una vez terminado el tercer período, se procede á la colada, vertiendo ántes en el caldero que ha de recibir el acero fundido que contiene el convertidor, una cierta cantidad de spiegeleisen.

Como ántes hemos indicado, el taller de aceros tiene siete hornos Martin-Siemens, de 18 á 20 toneladas de carga cada uno, y dos hornos rotatorios Bouvard.

Empléase el procedimiento ácido, mezclándose lingote de fundición pura, muy poco fosfórea, procedente de minerales argelinos ó españoles, hierros muy dulces, pudlados, obtenidos en los hornos Bouvard (que pueden hacer cada uno doce cargas de 1000 kilógramos al día) y retales de acero procedentes de la forja (mazarotas y culatas de lingote, etc.)

Tuvimos ocasión de presenciar la colada de un lingote de 68 toneladas, con acero fundido, suministrado por cuatro hornos Martin-Siemens. Este gran lingote estaba destinado á proporcionar sunchos y otros elementos de cañones de 34 centímetros, para la marina francesa.

Al lado de la piquera de cada horno hay un foso en el que se mueve, verticalmente y por rotación, una plataforma sobre la que se coloca el caldero de colada puesto encima de un pequeño vagón. En el momento conveniente, se rompe la piquera, y el acero líquido sale del horno y cae, por una canal, en el caldero; y cuando éste está lleno, se levanta la plataforma, con el caldero, hasta que el pequeño vagón llegue á la altura del piso del taller, y se le hace correr por una vía, movido por una locomóvil, conduciéndole encima del foso de colada, donde se hallaba colocada la lingotera provista de dos bebederos. Abierto el orificio del fondo del caldero, comenzó la colada, que continuó después, haciendo que un nuevo caldero empezase á verter sobre el segundo bebedero, ántes de que el primero hubiese terminado, lo cual se conocía introduciendo por la parte superior de éste una varilla de hierro cuya parte inferior al su-

mergirse en el líquido quedaba incandescente y demostraba así la altura de la masa fluida.

Talleres de forja.

49. Comprenden el forjado á mano, el forjado á vapor (con martillos-pilones), el forjado con prensa hidráulica y la laminación de llantas para ruedas de vagones. Los talleres forjan piezas de acero para máquinas, material de vías férreas, cañones y planchas de blindaje.

Merece especial mención la colección de martillos-pilones de potencia varia, 8, 10, 15, 20 y 40 toneladas, y sobre todo el de 100 toneladas.

El empleo de los martillos-pilones, ya para el cinglado de las zamarras, ya para el forjado de piezas de gran dimensión, data de 1840. Mr. Bourdon, ingeniero del Creusot, en Francia, y Mr. Nasmyth, en Inglaterra, llevaron simultáneamente á la práctica esta idea en el citado año de 1840. La patente tomada por Mr. Scheneider data de 1842.

A medida que las necesidades de la industria exigieron emplear piezas de hierro de dimensiones cada vez mayores, las fábricas se vieron precisadas á establecer martillos-pilones cada vez más potentes. Los martillos de 12 á 15 toneladas sirvieron para la construcción de árboles de transmisión, ejes de vagón, etc.; los de 25 toneladas sólo se encuentran en fábricas importantes; el de 50 toneladas, presentado por Krupp en la Exposición universal francesa de 1867, fué por mucho tiempo el coloso de esta clase de máquinas-herramientas, hasta que en 1876 construyó el Creusot un martillo-pilón de 100 toneladas, con el cual se hace el forjado de los enormes árboles de las grandes máquinas de vapor marinas y de los pesados lingotes destinados á cañones de gran calibre, gruesas planchas de blindaje, etc.

Por más que este notable martillo, cuyo modelo fué presentado en la Exposición universal francesa de 1878, no es hoy una novedad, creemos de este lugar dedicarle algunas líneas que sirvan siquiera para recordar la potencia que hoy alcanzan esta clase de máquinas.

Para buscar el firme de roca para los cimientos, hubo necesidad de descender á 11 metros de profundidad. El cimiento está formado por un macizo de mampostería de 600 metros cúbicos de volúmen, que deja en medio una fosa ó cavidad donde se ha colocado el yunque ó chavota. Sobre las partes laterales del macizo se asientan los montantes ó piernas del martillo, anclados á la mampostería por medio de largos y gruesos pernos.

Encima de la mampostería, en el fondo de la fosa, hay un lecho de un metro de espesor, de maderos de encina, sobre el cual se asienta el yunque, que tiene la forma de pirámide cuadrangular, truncada, de 33 metros cuadrados de base y $5^m,60$ de altura, y está compuesta de seis hiladas de sillares de fundición, que pesan en total 720 toneladas. Los espacios laterales que quedan entre el yunque y los paramentos interiores de la mampostería sobre que asientan los montantes del martinete, están rellenos de maderos de encina, cuyo objeto, así como el del lecho de maderos de dicho yunque, es amortiguar las vibraciones que produce el choque del martillo.

La superestructura consta de las jambas ó montantes de fundición de hierro, unidos por dos travesaños, y un entablamento sobre el que está colocado el cilindro, de cuyo vástago pende el martillo propiamente dicho. Las jambas tienen $10^m,50$ de altura, y pesan, con las piezas accesorias, 400 toneladas. El cilindro de vapor tiene 6 metros de altura y $1^m,90$ de diámetro. La altura total del martillo-pilón es de $18^m,60$ sobre la superficie del suelo del taller, y de 30 metros sobre el fondo de la cimentación.

La superficie del émbolo es de 27.345 centímetros cuadrados, de modo que la presión del vapor, á 5 atmósferas de tensión, es de 140 toneladas, es decir, mucho mayor que el peso del martillo que ha de levantar. La carrera del émbolo es de 5 metros, de modo que el trabajo desarrollado por el pilón, que pesa 100 toneladas, es de 500.000 kilográmetros, cantidad enorme que demuestra la facilidad con que se pueden forjar, con esta poderosa herramienta, los lingotes de hierro ó de acero destinados á la gruesa artillería ó á la construcción de planchas de blindaje.

Se comprende, con esto, que el Creusot presentase en la Exposición universal francesa una plancha de coraza de 650 milímetros de espesor. Herramientas de tan colosal potencia son una garantía de buen resultado, y no todos los establecimiencos metalúrgicos están en disposición de montar martillos-pilones como el que acabamos de describir, cuyo coste subió á un millón de francos.

Para el servicio del martillo-pilón de 100 toneladas hay, inmediatos, cuatro hornos de gas, con regeneradores Siemens, en donde se hace el

recalentado de las piezas que se van á forjar, y cuatro grúas. Los hornos, que son de los de mayores dimensiones en su género, ocupan, cada uno, con su regenerador, un espacio de $7^m,80$ de largo, $3^m,60$ de ancho y 10 metros de altura total; y el laboratorio tiene $4^m,30$ de longitud, $3^m,40$ de anchura y $2^m,60$ de altura bajo la bóveda. La puerta de introducción es de $3^m,50$ de longitud y $2^m,30$ de altura, y está maniobrada por un aparato hidráulico que sirve también para mover las cuatro grúas. De éstas, tres son de 100 toneladas de fuerza, y la potencia de la cuarta es de 160 toneladas. Sus pesos respectivos son de 110 y 140 toneladas.

Las grúas, colocadas á la inmediación del martillo-pilón, pueden dar á las piezas cuatro movimientos, uno giratorio alrededor del pivote de la grúa, uno ascensional ó de descenso de la carga, otro de traslación de ésta en sentido longitudinal, y finalmente, un movimiento rotatorio de la carga sobre sí misma. Así es que piezas pesadísimas, son manejadas, para el forjado, con pasmosa facilidad, haciéndoles resbalar, girar, levantar ó descender sobre el yunque, como podría hacer con la mano un herrero que forjase una delgada varilla.

Ante los comisionados extranjeros, y franceses, que hicimos la visita de estos talleres, se hizo el forjado de una gran plancha de acero, que al ser sometida á la forja tenía más de 80 centímetros de espesor. Esta plancha estaba destinada, según se nos dijo, al acorazado chileno *Capitán Prat.*

El martillo-pilón de 100 toneladas, los hornos y las grúas, ocupan un espacio de 50 metros de longitud, 35 metros de anchura y 17 metros de altura.

En el mismo taller se halla establecida, desde hace muy poco tiempo, una prensa hidráulica de fuerza de 2000 toneladas, para el forjado de guesos lingotes de acero. Entre los numerosos empleos de la prensa hidráulica á las artes industriales, figura, recientemente, el que recibe en los establecimientos metalúrgicos como aparato de forja, y aparato muy estimable por su trabajo, si bien lento, poderoso y regular.

Son demasiado conocidas las prensas hidráulicas para que nos detengamos en su descripción. Solo diremos que la fuerza suministrada por el acumuludor *A* (fig. 12), se trasmite á la prensa *B*, que se mueve verticalmente. El yunque *b* está colocado sobre un carro móvil en sen-

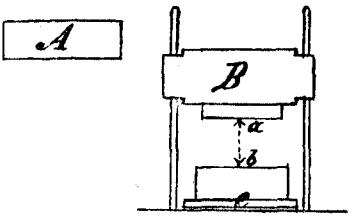


Fig. 12.

tido perpendicular al plano de la figura. La distancia *a b* es de $0^m,66$, pero puede levantarse más para poder prensar los lingotes, de pie, y hacer su recalcado.

Vimos forjar un gran lingote de acero destinado á un grueso árbol acodado de una máquina de vapor, y es verdaderamente curioso el espectáculo que ofrece el trabajo de la prensa, que desciende silenciosamente y aplasta el lingote cual si operase sobre un cuerpo blando y plástico. La acción de la prensa llega hasta el corazón de la masa metálica, de modo que el forjado es, á nuestro entender, más regular y uniforme que el ejecutado por el martillo-pilón. Las opiniones de los ingenieros del Creusot, al comparar esta máquina con el martillo-pilón, están, sin embargo, divididas, si bien todos conceden un gran valor al nuevo procedimiento de forja. La experiencia dictará el fallo justo.

Los partidarios del martillo-pilón, aducen, en favor de éste, una razón que no deja de tener valor, y es que puede con él hacerse el forjado á temperaturas bajas, mientras que con la prensa es necesario que el lingote esté al blanco.

Aunque la prensa es de 2000 toneladas de fuerza, no trabaja más que á la mitad, y esto es debido á que uno de los cilindros, de acero fundido moldeado, quedó algo resentido desde los primeros momentos. Se trata de sustituirlos por otros de acero fundido y forjado.

Para la construcción de llantas de ruedas de vagón, sin soldadura, se forja un lingote, de peso conveniente, y se le da la forma de una gran rodaja. Se taladra en el centro, y se mandrila el orificio hasta ensancharlo (fig. 13), convirtiéndolo en una especie de anillo.

Fig. 13.

Llévase después á un martillo-pilón (figura 14) provisto de la pieza *b* que tiene, en tosco, el perfil de la llanta, y se martilla el anillo intro-

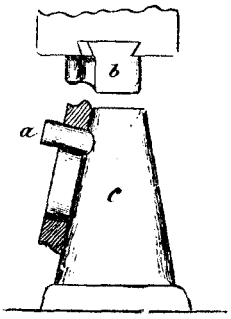


Fig. 14.

duciéndolo al efecto en el saliente *a*, de la bigornia *c*. Así se le da la forma que representa la figura 15.

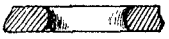


Fig. 15.

En seguida se procede á la laminación que ha de dar á la llanta el perfil definitivo, empleando un laminador vertical y otro horizontal.

Todas estas operaciones sucesivas se ejecutan con rapidez y facilidad grandes.

Los laminadores pueden dar 12.000 toneladas de llantas al año.

Recocido y temple. *50.* Estas operaciones desempeñan un papel importantísimo en la fabricación de aceros en el Creusot, y no es extraño, por tanto, que esté la fábrica perfectamente dispuesta para ejecutarlas, no sólo en piezas pequeñas, sino también en las grandes masas metálicas destinadas á cañones y planchas de blindaje. Hay, pues, hornos de recocer, de grandes dimensiones, entre los cuales merecen citarse el destinado á las piezas de peso y dimensiones grandes, y el que sirve para calentar los tubos de los grandes cañones que han de ser templados inmediatamente. En los primeros, que tienen cuatro hogares, las piezas se introducen en el horno sobre un vagón que corre por una vía férrea. En los segundos, y según

indica el esquema adjunto, el horno *A* (fig. 16), es cilíndrico, vertical, con dos hogares inferiores, y tiene una envolvente cilíndrica también

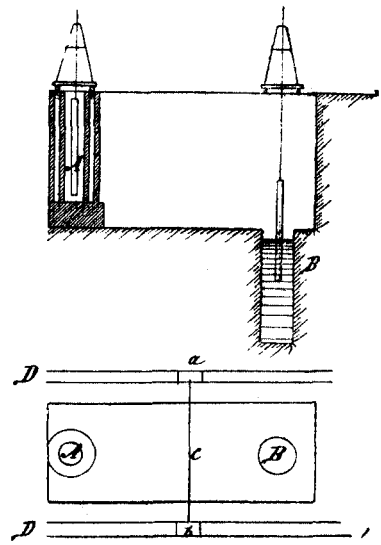


Fig. 16.

que comunica con el interior del horno por numerosas aberturas. Las llamas van del hogar al espacio anular que queda entre los dos cilindros, penetran por las aberturas anteriores en el cilindro interior, en el cual se coloca verticalmente el cañón.

Unos registros de entrada de aire, que tiene la envolvente exterior, situados enfrente de las aberturas del cilindro interior, sirven para moderar la calda en los diversos puntos de la longitud del cañón, consiguiéndose así que la pieza se caliente uniformemente.

El horno está situado en un gran foso. En la parte superior á cada lado hay una vía *D*. Dos grúas *a*, *b*, con su puente *c*, del que se suspende el cañón, corren por ellas.

Llegado el momento del temple se abre la parte anterior del horno, corren las grúas manteniendo vertical el cañón y lo sumergen en el pozo *B*, lleno de aceite. Presenciamos la operación que se hizo con un cañón de 24 centímetros, y se practicó con notable rapidez.

Talleres de construcción.

51. Miden estos talleres 500 metros de longitud y 150 metros de anchura media. Comprenden las subdivisiones siguientes: Fundición de hierro y de bronce, forja, calderería, talleres de torneado, de ajustado y de montaje.

La fundición de hierro que se emplea para el moldeo, como es práctica, es la fundición de segunda fusión; hay diez cubilotes y un horno de reverbero. Aquí se han fundido las dovelas de las cúpulas de fundición endurecida que el Cuerpo de Ingenieros francés estableció años atrás en Hirson (Laon), Giromagny (Belfort), Dumont y Stains (Saint-Denis).

Los talleres de fundición tienen para su servicio grúas movidas unas por el vapor de agua y otras por transmisiones mecánicas.

En el taller de forja, que cuenta con 27 martillos-pilones de dimensiones variables, se trabajan las piezas de hierro y de acero de dimensiones medianas y pequeñas, tales como las de los mecanismos de las locomotoras, máquinas fijas y marinas, sunchos de acero pudlado ó fundido para cañones de calibres pequeños y medianos, etc., etc.

El taller de calderería, que es muy bueno, está dividido en dos partes. En una se hacen los trabajos de esta clase referentes á locomotoras, y en la otra los correspondientes á las máquinas de vapor marinas y fijas. Casi todo el trabajo de calderería se hace por medio de aparatos movidos mecánicamente y no á mano; tal sucede con el remachado, que se practica con excelentes remachadoras hidráulicas; el punzonado, el taladrado, que se hace con máquinas de taladros múltiples, entre ellas una que tiene 35; el cortado de hierros y palastros; la embutición y el curvado de planchas.

Para el curvado de las gruesas planchas de 200 milímetros de espesor, de hierro laminado, que forman el casquete de las torres belgas, empléase una poderosa prensa hidráulica de 6000 toneladas de fuerza (fig. 17), que funciona desde hace siete años.

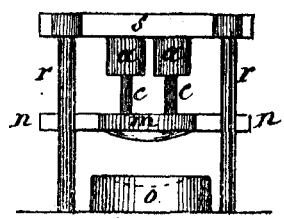


Fig. 17.

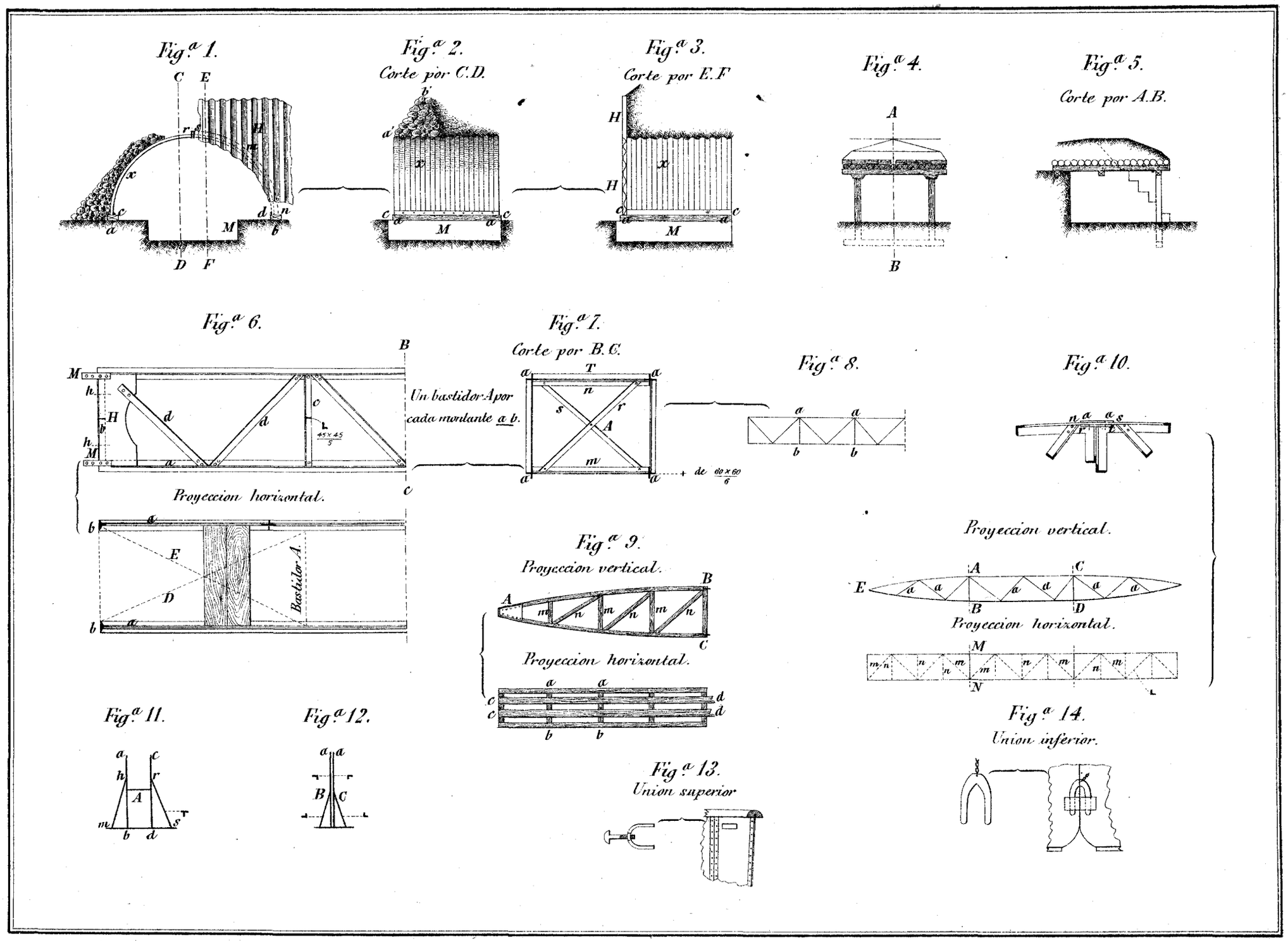


Fig.a 1.
Fig.a 2.
Corte por C.D.
Fig.a 3.
Corte por E.F
Fig.a 4.
Fig.a 5.
Corte por A.B.
Fig.a 6.
Un bastidor A por cada montante a b.
Proyeccion horizontal.
Bastidor A.
Fig.a 7.
Corte por B.C.
Fig.a 8.
Fig.a 10.
Proyeccion vertical.
Proyeccion horizontal.
Fig.a 9.
Proyeccion vertical.
Proyeccion horizontal.
Fig.a 11.
Fig.a 12.
Fig.a 13.
Union superior
Fig.a 14.
Union inferior.

Fig.ª 1.

Acero niquelado.

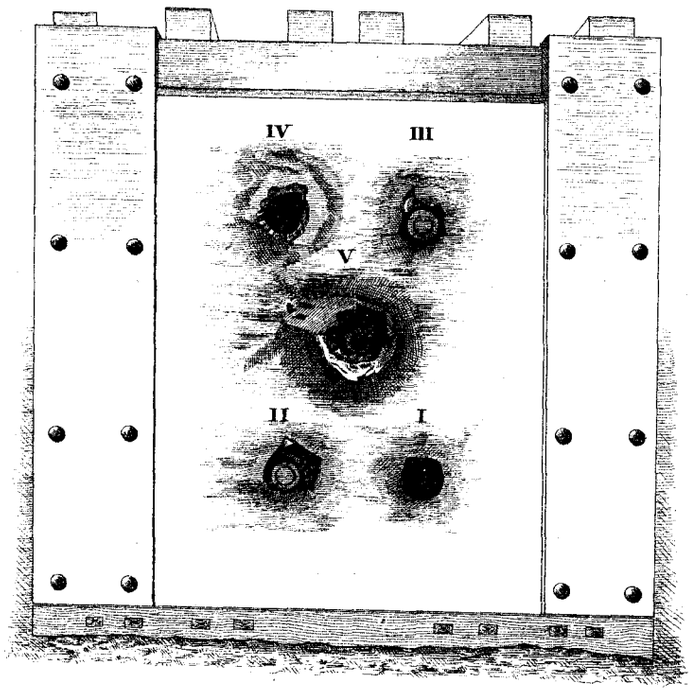
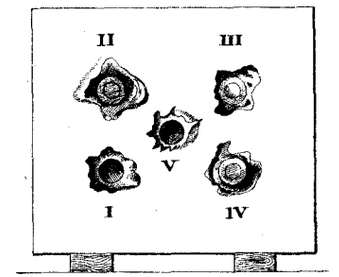


Fig.ª 2.

Acero niquelado.



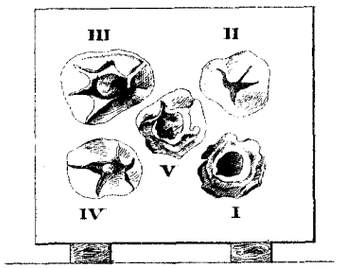
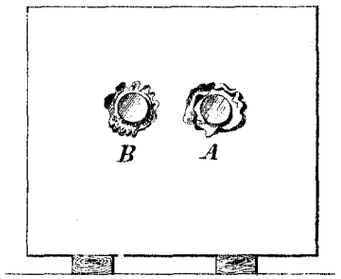
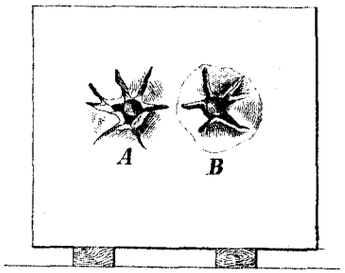
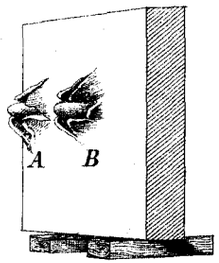


Fig.ª 3.

Acero niquelado.







Escala de 1:20 metros.

Fig.ª 1.
Metal Schneider.

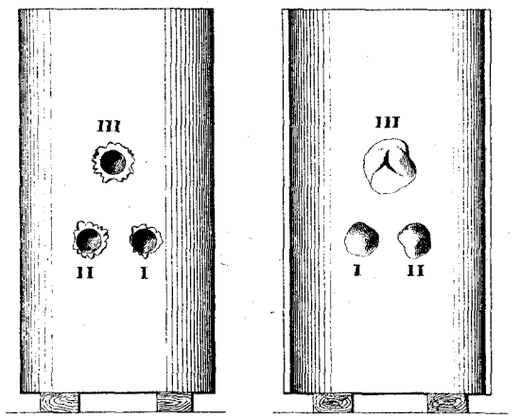


Fig.ª 3.
Hierro laminado.

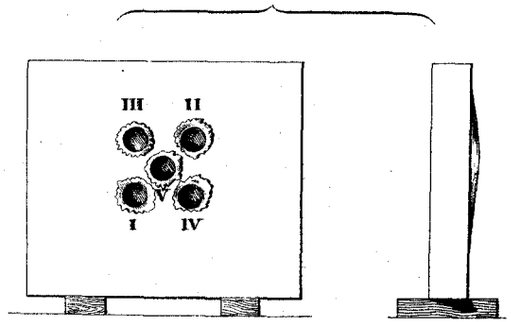


Fig.ª 5.
Hierro laminado.

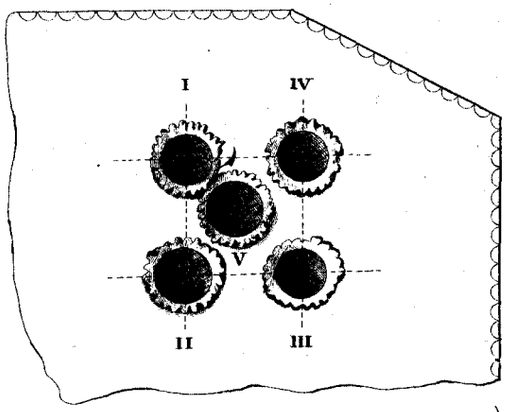


Fig.ª 2.
Hierro laminado.

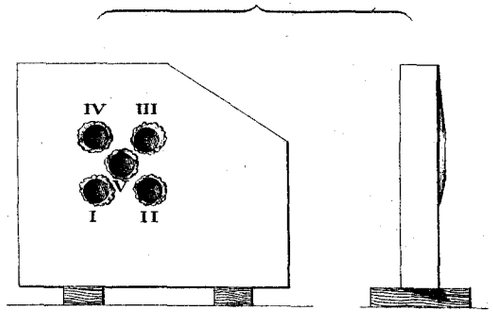
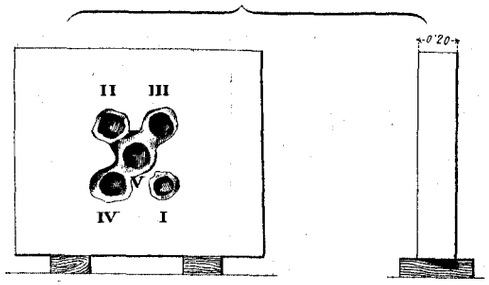
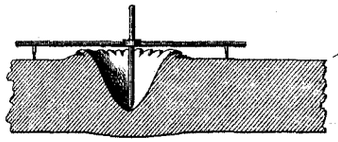


Fig.ª 4.
Hierro laminado.





Escala general de 1:20 metros.

Fig.ª 1.

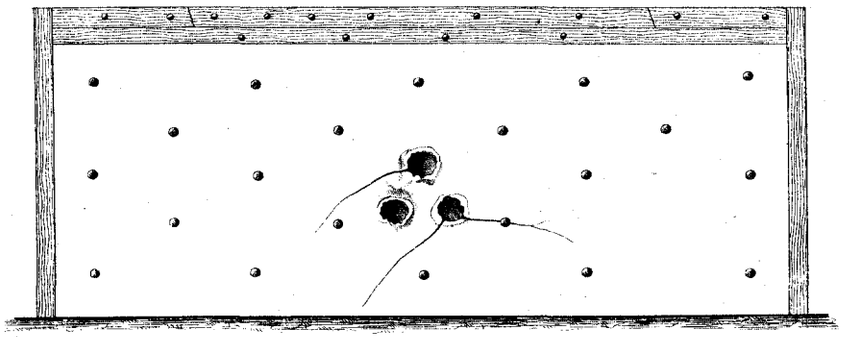


Fig.ª 2.

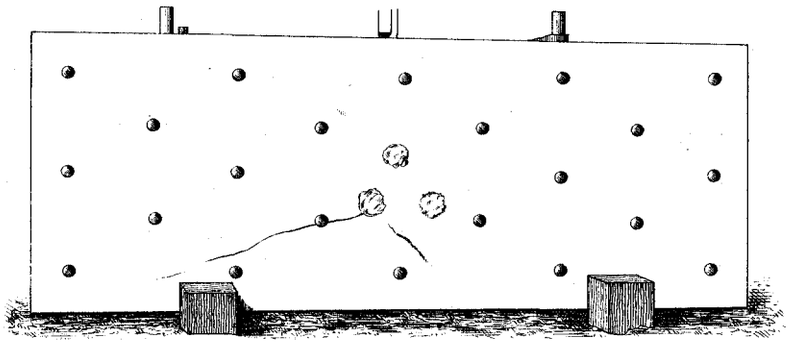
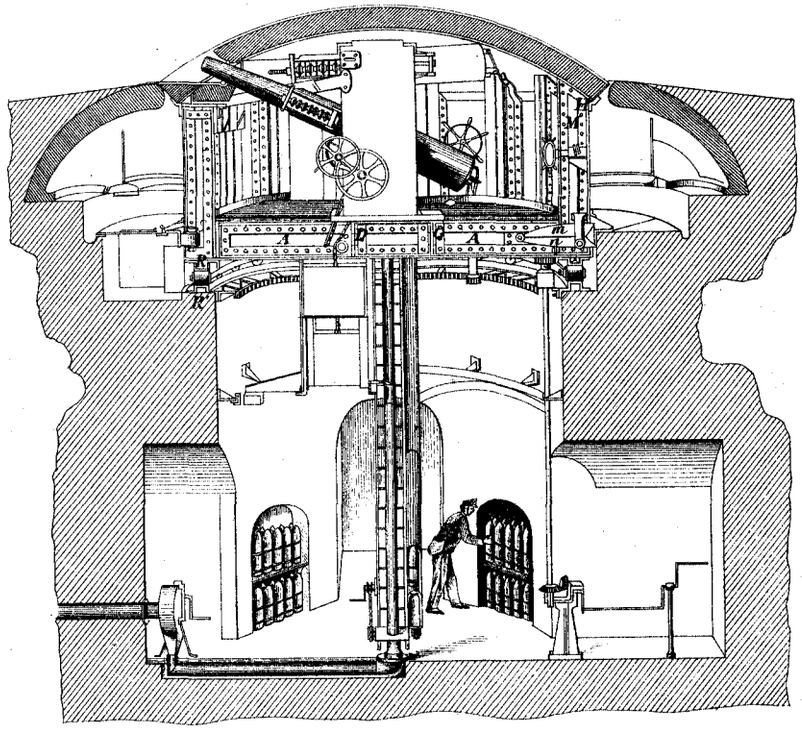


Fig.ª 3.

Cúpula del Creusot para dos cañones de 15 centímetros.



Escala de 1:50 metros.

En los cilindros *a* se inyecta por medio de un tubo el líquido á gran presión, merced á la cual descienden los vástagos de émbolo *c* ligados á la estampa *m* que por las orejas *n* baja, guiada por los montantes *r*, que son cuatro, unidos por la cumbrera *s*. La plancha se coloca sobre el yunque *o*, que tiene en hueco la forma de la estampa *m*.

Aneja á la calderería de planchas de hierro y acero, es otra de obra de cobre. La maniobra de las pesadas piezas se hace en estos talleres con poderosas grúas que funcionan mecánicamente.

Los talleres de torneado tienen herramientas de grandes dimensiones. Cuando los visitamos estaban torneando, entre otras piezas, un tubo de cañón de más de 10 metros de longitud, y un árbol, hueco, para máquina marina, de 12 metros de longitud.

El ajuste y montaje de las máquinas se hace en inmensos talleres, siendo por todo extremo notable el dedicado exclusivamente á las locomotoras.

Tiene construidas el Creusot cerca de 3000 locomotoras de todos tamaños, desde las de dos ejes de 6,5 toneladas de peso hasta las de cuatro ejes de 45 y más toneladas de peso. Ha suministrado material á casi todas las naciones de Europa y algunas de América. Cuanto á España, las líneas del Norte, Mediodía, Gerona, Ciudad-Real á Badajoz, Sevilla-Jerez-Cádiz, y otras, han adquirido muchas de sus locomotoras en el Creusot.

Los talleres de artillería están situados en una gran crujía, de 30 metros de luz y 120 de longitud, que va á ser prolongada. En ellos se hace el montaje de piezas de artillería hasta de 120 toneladas, y el de afustes y torres acorazadas. Vimos también los frenos hidráulicos y de resorte empleados en los cañones de 15 centímetros de las torres que se construyen para el Gobierno belga, que en otro lugar describimos, y la envolvente exterior de afustes acorazados móviles, poco diferente en su forma de los semejantes que se construyen en la fábrica Gruson.

Para la labra de los bordes del casquete blindado de las torres belgas, existe una sierra contínua *a* (fig. 18) movida por las correas de transmisión *b*. El casquete *A*, con la concavidad hácia la parte superior, descansa sobre el soporte *B* provisto de la rueda dentada *c* que engrana en el piñón *d*, el cual es movido por la correa *e m*, que á su vez obtiene mo-

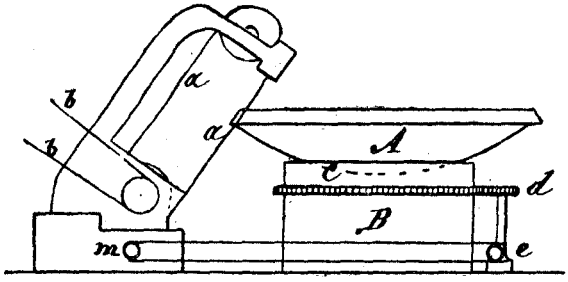


Fig. 18.

vimiento del árbol general de transmisión mediante engranajes intermedios.

La ingeniosa combinación del movimiento rotatorio del soporte *B* y del de la sierra *a*, dan por resultado el aserrado regular de los bordes del casquete, quedando en él labrada la superficie cónica de la base con inclinación conveniente de las generatrices.

Laboratorio químico y gabinete de ensayo de metales.

52. El laboratorio químico pasa por ser uno de los más completos de Francia. En él se hacen los análisis de las primeras materias y de los diversos productos metálicos en todos los períodos de su transformación.

El gabinete de ensayos ó pruebas mecánicas no tiene, en cambio, nada de particular. Lo forman una máquina para las pruebas por choque, otra de balanza, antigua, para las experiencias de tracción, y una máquina Maillard, provista de un compresor Desgoffes, manómetro multiplicador de Galy-Cazalat para la determinación de los esfuerzos tractores, y micrómetro de Dumoulin Froment para la medición de las deformaciones.

Polígono.

53. Para las pruebas de cañones, placas de blindaje y torres blindadas, posee el Creusot el pequeño polígono de la Villedieu, á ménos de un kilómetro de los talleres, y unido á éstos por vía férrea y comunicación telefónica. En él se encuentra un espaldón, con cámara de arena, para recibir los proyectiles, espacios acasamatados, explanadas para las piezas, instalaciones para medir las velocidades iniciales, bastidores de madera para recibir las planchas de blindaje que han de someterse al tiro, etc. Poderosas grúas de vapor, y una plataforma de gran resisten-

cia, circulan por la vía férrea que une el polígono á los talleres, y hacen el transporte de las pesadas masas metálicas que se sujetan á ensayo.

En el polígono estaba instalada la torre para dos cañones de 15 centímetros, destinada á las fortificaciones del Mosa, y cuya descripción y pruebas, que se realizaron ante la comisión belga y pudimos presenciar, describimos más adelante (números *55* y *56*).

En un pequeño pabellón, próximo á las casamatas, estaban expuestos varios objetos, de los cuales los más notables eran:

Una colección de fotografías de los productos industriales, civiles y militares de la fábrica.

Modelos de la torre acorazada belga.

Modelos de otros tipos de torres.

Modelo de un truk elevador inclinado (para dos cañones Hotchkiss de tiro rápido, de 57 milímetros, ligeros) con escudo, sistema Creuzé de Latouche.

Modelos de instalaciones fijas, blindadas, para cañones y morteros, proyectados por el citado Creuzé de Latouche.

No léjos del pabellón se veían, sobre polines, varias planchas de hierro, acero Schneider y acero nikel, fabricado por el Creusot, ya experimentadas en Europa y América, en las que se podían apreciar, perfectamente, el efecto de los proyectiles y las condiciones de resistencia de estos metales.

El interés que entendemos encierran estas experiencias, nos mueve á dar á continuación los datos necesarios para que pueda juzgarse del valor defensivo de los diversos blindajes.

Plancha núm. 1. (Figura 2, lám. 6.ª). De acero niquelado. Experiencias hechas en los Estados-Unidos (11 y 14 de Junio de 1890).

Grueso de la plancha, 252 milímetros. Se hicieron los disparos con cañón de 15 centímetros.

Proyectiles de acero cromado Holtzer, de 45 kilógramos de peso.

DISPAROS.	Velocidad del proyectil en el choque en metros por segundo.	Penetración en milímetros.	OBSERVACIONES.
I.	604,5	»	Plancha perforada.
II.	549	323	Proyectil incrustado.
III.	604,5	645	Plancha atravesada. Proyectil incrustado.
IV.	600	394	Proyectil incrustado.
V.	604	»	Plancha perforada.

La primera y última de las figuras 2 (lám. 6.ª) representan, respectivamente, el anverso y el reverso de la plancha. Estas figuras, copiadas del natural, ponen de manifiesto la excelente calidad del metal. No había la más imperceptible grieta, á pesar de estar tan agrupados los proyectiles. Estos, ó producen agujeros limpios, fáciles de obturar, ó quedan incrustados en la plancha á guisa de tapones.

La penetración del proyectil III (645 milímetros) aparece ser mayor que el espesor de la plancha, porque se cuenta á partir de la punta de dicho proyectil.

PLANCHA NÚM. 2. (Fig. 3, lám. 6.ª) De acero niquelado. Experiencias practicadas en los Estados-Unidos el 24 de Mayo de 1890. Se hicieron dos disparos con cañón de 15 centímetros y proyectiles de acero cromado Holtzer, de 45 kilógramos de peso.

DISPAROS.	Velocidad del proyectil en el choque en metros por segundo.	Penetración en milímetros.	OBSERVACIONES.
I.	600	460	Proyectil incrustado.
II.	600	407	Proyectil incrustado.

Iguales observaciones que para la plancha número 1, podríamos hacer respecto á las penetraciones y á la calidad excelente del acero niquelado.

PLANCHA NÚM. 3. Experiencias hechas en la isla de Amager (Copen-

hague) en 11 de Julio de 1890, con una torrecilla de paso de municiones, de acero Schneider, con destino al acorazado *Tordenskjold*, de la marina real danesa.

Espesor de la plancha, 114 milímetros.

Se hicieron tres disparos con cañón de 15 centímetros y proyectil de fundición endurecida, de la marina danesa, de 41 kilógramos de peso. La velocidad, en el choque, fué de 377 metros por segundo.

DISPAROS.	Penetraciones.
I.	105
II.	107
III.	112

Ninguno de los proyectiles atravesó la plancha, haciendo tan sólo unos henchimientos en el reverso, como se vé en la figura 1 (lám. 7.ª).

Al tercer disparo, se produjo una finísima grieta que unía los impactos de los disparos I y II.

El metal dió buen resultado, aunque inferior al obtenido con el acero niquelado de los ejemplos precedentes.

Plancha núm. 4. (Fig. 2, lám. 7.ª) De hierro laminado, del Creusot. Corresponde á un lote de planchas empleadas en los casquetes de las torres para cañones de 15 centímetros encargados á la fábrica por el Gobierno belga.

Espesor de la plancha 200 milímetros.

Proyectiles de 15 centímetros de fundición endurecida, de la marina francesa, de 39 kilógramos de peso.

Velocidad en el choque, 332 metros por segundo.

Experiencia hecha en el Creusot en 28 de Noviembre de 1889.

DISPAROS.	Penetraciones en milímetros.
I.	150
II.	150
III.	148
IV.	151
V.	160

Ningún proyectil atravesó la plancha. Las impresiones de la forma ojiva de la punta del proyectil eran perfectamente regulares. El metal de la parte anterior de la plancha, rechazado por el proyectil, formaba coronas muy regulares de rebabas, prueba inequívoca de la gran homogeneidad del hierro. No aparecía la más pequeña grieta, á pesar de estar tan agrupados los impactos, y solamente, en la parte posterior de la plancha, aparecía una abolladura que comprendía la región percutida.

El hierro puede calificarse de excelente, como metal de blindaje.

PLANCHA NÚM. 5. (Fig. 3, lám. 7.ª) Experiencia del Creusot de 9 de abril de 1890. Hierro laminado, de la misma clase que el de la plancha número 4, también para torres belgas. Los datos de espesor, naturaleza y peso de los proyectiles, y velocidad de éstos, son los correspondientes á la plancha anterior.

DISPAROS.	Penetraciones en milímetros.
I.	144
II.	142
III.	140
IV.	140
V.	148

El mismo resultado que en la plancha número 4.

PLANCHA NÚM. 6. (Fig. 4, lám. 7.ª) De acero niquelado, de 200 milímetros de espesor. (Experiencias del 19 de Septiembre de 1890, en el Creusot.)

Los proyectiles de cañón de 15 centímetros, que se emplearon, fueron de fundición endurecida, de la marina francesa, de 39 kilógramos de peso, en los disparos I y II, y de acero cromado Holtzer, de 45 kilógramos de peso, en los disparos III, IV y V. La velocidad en el choque, de 330 metros por segundo.

DISPAROS.	Penetraciones.
I.	77
II.	67
III.	127
IV.	128
V.	131

Ningún proyectil atravesó la plancha, ni quedó incrustado, dejando tan sólo las impresiones de la parte ojiva.

No se presentó la más insignificante grieta. El metal en los impactos II á IV, estaba descascarillado.

Las menores velocidades en el choque que, con respecto á las experiencias con las planchas número 1 y 2, se emplearon en ésta, explican los menores efectos destructores de los proyectiles. Nótese, también, la gran diferencia de penetración de los proyectiles de fundición endurecida y los de acero cromado, que están próximamente en la relación de 1 á 2.

EXPERIENCIAS.

54. En el polígono estaba instalada la torre, de cuyas pruebas y recepción provisional se hallaba encargada la comisión belga. Tan sólo faltaba la antecoraza, cuya posición y dimensiones estaban indicadas por una plantilla de madera, porque, como en otro lugar decimos, ha de ser fabricada en Bélgica.

55. Hé aquí el programa de construcción de la torre, dado por el gobierno belga: Descripción de la torre.

El techo, en forma de casquete esférico, ha de estar acorazado con planchas de hierro laminado, de 200 milímetros de espesor.

El cuerpo de la cúpula, cilíndrico.

Afustes de freno hidráulico, y retorno en batería automático.

Carrera de retroceso de los cañones, limitada á un calibre (15 centímetros).

Amplitud de la puntería en dirección..... 360°

— — en altura..... + 25° / — 2°

Puntería indirecta con ignición eléctrica, automática, y puntería directa por medio de un observatorio.

Cañoneras de sección mínima con sistema de obturación para la entrada del humo.

Maniobra á brazo de la cúpula y de todos sus órganos.

Antecoraza de fundición endurecida, de 320 milímetros de espesor en la parte superior, y 240 milímetros en la parte inferior (1).

Datos principales referentes á la cúpula y á su armamento:

CÚPULA

Dimensiones principales.

Diámetro interior de la cámara de tiro	$5^m,400$
Diámetro exterior de la plancha de coraza del casquete	$5^m,900$
Altura máxima de la cámara de tiro sobre el suelo de la misma	$2^m,700$
Salida máxima de la cúpula por encima del glásis	$1^m,000$
Peso total de la cúpula con antecoraza (próximamente)	224.000 kgs.
Que se reparte así:	
Cúpula con afustes	93.500 »
Coraza de la cúpula	47.300 »
Antecoraza	83.200 »

Puntería en dirección.

Número de hombres necesarios, en el torno de la cámara inferior, para hacer girar la cúpula	6
Tiempo necesario para una revolución completa de la cúpula	90″
Velocidad correspondiente en la boca de los cañones	$0^m,165$

ARMAMENTO

Dos cañones de 150 milímetros, de 25 calibres de longitud.

Peso de un cañón	3.065 kgs.
Peso del proyectil de ruptura	39 »
Peso de la carga	9 »

(1) Las antecorazas han de ser fabricadas en Bélgica.

Velocidad inicial. . . . . 470 mts.
Tiempo necesario para pasar, en la puntería en dirección, de un ángulo extremo (+ 25°) al otro (—2°). 25″

Cuerpo de la cúpula. Consta: primero, de un entramado horizontal que forma el piso; segundo, de un entramado vertical que constituye el cuerpo cilíndrico; tercero, de la techumbre ó cubierta acorazada en forma de casquete esférico.

Los palastros y demás elementos laminados son de acero dulce de construcción.

El entramado horizontal se compone de tres vigas doble T, compuestas, *A*, *B* y *C* (fig. 3, lám. 8.ª; 1 y 2, láminas 9.ª y 10.ª), colocadas, la central, *B*, según un diámetro del cuerpo cilíndrico de la cúpula, y las otras dos, *A* y *C*, paralelamente á la *B*, una de cada lado, á 1 metro de distancia entre ejes. Perpendicularmente á estas vigas existen otras dos: *D* y *E*, paralelas, á distancia de 1 metro entre ejes y á $0^m,50$ del eje de la cúpula.

Estas cinco vigas tienen $0^m,450$ de alrura, y se componen de almas llenas y tablas de palastro de acero de 20 milímetros, y escuadras de $\frac{150 \times 150}{20}$, del mismo metal. Las ensambladuras de las *D* y *E* á las *A* y *C*, son las que ordinariamente se emplean en casos semejantes de las obras de hierro.

La separación de las vigas *A*, *B* y *C* está calculada con el objeto que sobre ellas insistan, directamente, las placas que hacen de gualderas de los dos cañones de 15 centímetros.

El entramado vertical lo forman 14 montantes verticales *M* (fig. 3, lám. 8.ª, y fig. 2, lám. 9.ª) de sección doble T, de alma llena, de $0^m,400$ de altura, compuestos de palastros de 20 milímetros de espesor y escuadras de $\frac{150 \times 150}{20}$. Estos montantes se terminan por la parte inferior encorvándose, á ángulo recto, las tablas de la doble T y las escuadras, y en el extremo superior siguen la forma del casquete esférico que sobre ellos ha de descansar.

Una plancha de palastro de acero *F*, de 20 milímetros de espesor,

cosida á las tablas exteriores de los montantes, forma la pared cilíndrica de la cúpula y aisla el interior de ésta del corredor formado por la antecoraza.

Los 14 montantes verticales están unidos entre sí, además, por una plancha de palastro horizontal en su extremo inferior, por otra pequeña cilíndrica, interior, y en su parte superior por la pieza *H*, de acero moldeado, en forma de talón, que sirve para soportar el techo esférico de la cúpula.

El entramado horizontal, ántes descripto, se liga al entramado vertical ensamblándose las vigas de aquél con los montantes de éste, por medio de bridas y escuadras roblonadas.

Casquete esférico. El techo de la torre, que tiene la forma de casquete esférico, está compuesto de dos capas; una formada por dos planchas de palastro, superpuestas, de 20 milímetros de grueso cada una, y otra capa, la exterior, de plancha de hierro laminado, de 200 milímetros de espesor.

Los dos palastros de 20 milímetros de espesor que forman el techo ó parte interior del casquete, tienen sus planos de junta según meridianos de éste y se solapan como se ve en *a* y *b* (fig. 19), colocándose las cubre-

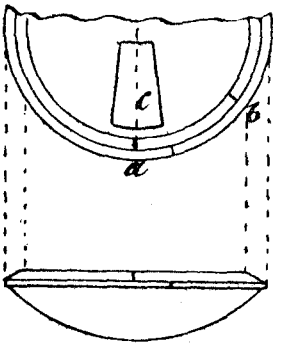


Fig. 19.

juntas *c*. La plancha de 200 milímetros de espesor, que constituye el blindaje, consta de tres partes, estando las líneas de junta situadas en planos normales á los de tiro (fig. 2, lám. 10.ª). Entre esta plancha y la superior de las dos de 20 milímetros, se interpone un cierto espesor de

plomo, cuyo objeto es igualar las asperezas de las superficies en contacto y proporcionar una buena superposición. Están, además, unidas entre sí por medio de tornillos sin cabeza, embebidos en el espesor de metales, distantes 300 milímetros de eje á eje.

Para preservar del tiro enemigo las partes débiles del casquete, el borde inferior resulta situado por debajo del glásis (fig. 1, lám. 9.ª) y libre por tanto del tiro directo; y las cañoneras, que son simples orificios abiertos en las placas, no llevan rehenchimientos ó abultamientos de metal. La boca de las piezas no rebasa, con igual objeto, la superficie exterior del casquete, y la salida total de la cúpula por encima del glásis no es más que de 1 metro.

Para hacer la puntería directa, está provista la cúpula de un pequeño observatorio, compuesto de una pequeña garita de acero moldeado equilibrada por contrapesos, que tiene un movimiento ascensional y de descenso dentro de un orificio de forma oval de 0,450 milímetros de diámetro máximo, abierto en las planchas de blindaje. Debajo corresponde una pequeña plataforma destinada al apuntador.

Entre un hierro circular *R* (fig. 3, lám. 8.ª), cosido á la parte inferior del cuerpo cilíndrico de la cúpula, y otro *R'* empotrado en la mampostería, están situados 42 rodillos, cuyos ejecillos están unidos en sus extremos por dos pletinas ó aros, á fin de mantener invariable su distancia, del mismo modo que lo están las roldanas de las plataformas giratorias en los caminos de hierro.

Los hierros *R* y *R'* tienen una sección de forma de U, con rebordes. El inferior *R'*, en uno de los segmentos de que se compone, lleva una entalladura provista de una cuña móvil que permite reemplazar un rodillo en caso de fractura.

Esta disposición sirve para que la cúpula gire, venciéndose el rozamiento de rodamiento, resistencia pasiva que se opone al movimiento, por fuerzas aplicadas del modo que más adelante diremos. Y como no hay pivote central, como en las plataformas giratorias de los ferrocarriles, es preciso mantener la invariabilidad del eje vertical de rotación, y esto se consigue merced á los rodillos verticales *S*, ligados al cuerpo de la cúpula, que se apoyan en un carril circular, de sección de escuadra, empotrado en la mampostería.

La quijada móvil inferior *n*, del freno *m n*, se apoya sobre el canto de dicho hierro en escuadra, cuando es solicitada hácia la parte superior por la varilla maniobrada por un tornillo sin fin provisto de un volante, é impide entonces todo movimiento de la cúpula.

Antecoraza y corredor. La antecoraza es de fundición endurecida, y se compone de seis segmentos que se ensamblan por medio de placas de talón de acero moldeado, y chavetas. Dos de los segmentos, los del lado opuesto al ataque, son de menor espesor que los restantes.

Entre la antecoraza y el cuerpo cilíndrico de la torre hay un corredor, al que se puede entrar por una puerta que tiene dicho cuerpo cilíndrico.

Para evitar la entrada de gases en el interior de la torre, el cuerpo cilíndrico de ésta lleva en su parte inferior un collar de obturación que se apoya en el carril de rodamiento de las roldanas de eje vertical.

Cámara inferior. En ella están instalados los montacargas, aparato de rotación de la torre, ventilador y municiones.

Los montacargas son dos, movidos cada uno por un manubrio. Dentro de los tubos, que desembocan en la cámara superior de tiro, se mueven cadenas sin fin, en donde están los platillos donde se colocan los proyectiles y cargas.

Para hacer girar rápidamente la torre, hay una rueda dentada fijada á la cara interior del carril inferior de rodamiento. En esta rueda engrana un piñón cuyo árbol vertical gira, por intermedio de engranajes cónicos, movido por una larga manivela.

Afustes y cañones. En la cámara de tiro están los afustes, que consisten en gruesas planchas rectangulares sólidamente unidas al piso y á las paredes del cuerpo cilíndrico, pero que no llegan al intradós del casquete, sino que dejan un espacio relativamente grande con objeto de conseguir independencia entre el techo y el afuste, de modo que las deformaciones y vibraciones del casquete, producido por el choque de los proyectiles, no se transmitan á los afustes, ni sean causa de perturbación en el tiro. Esta circunstancia es de gran interés.

En las caras internas de las gualderas están labradas en arco de círculo, cuyos centros son las cañoneras, ranuras en que se alojan las muñoneras de los cañones. Estos se mueven alrededor de la boca, y para la

facilidad en la operación, hay unos arcos dentados, de cuyo extremo parten los cables que soportan los contrapesos alojados en unas cajas colocadas en la cámara inferior. Engranajes sencillos movidos por volantes, dan movimiento al arco dentado y con él al cañón. Esta disposición es tan semejante á la empleada en las torres y afustes de la Grusonwerk, que nos creemos dispensados de entrar en más detalles.

Las cañoneras llevan unas cajas de obturación que permiten el pequeño movimiento de retroceso del cañón é impiden, sin embargo, la entrada del humo en el interior de la torre.

Lo verdaderamente interesante, es el sistema de frenos de resorte é hidráulicos aplicados á los cañones. Este sistema, de que ha tomado privilegio de invención el Creusot, merece descripción algo detallada por las numerosas aplicaciones que puede recibir, y por su perfecto funcionamiento, que tuvimos ocasión de apreciar en las experiencias de la cúpula construída por la fábrica para el gobierno belga.

El cañón (figuras 1, 2 y 3, lám. 11) se apoya por sus muñones *O* en unas correderas *K* que se mueven á lo largo de las tablas ó guías *E* de las piezas *A*.

Estas piezas *A* son las que corren por las ranuras circulares *B* de las gualderas (fig. 2, lám. 12), para obtener la puntería en altura.

Prescindamos, por ahora, de dichas gualderas y de la puntería en altura, y fijemos la atención en el movimiento de retroceso del cañón, por efecto de los disparos.

Las correderas *K* (figuras 1, 2 y 3, lám. 11), que hacen el oficio de muñoneras, tienen dos cavidades cilíndricas *P P'*, dentro de las cuales se mueven dos émbolos provistos de sus vástagos *b' h*. Los dos cilindros, de adelante y de atrás, están en comunicación por medio del conducto *a b*, y además, tienen unas pequeñas ranuras *c*, cuyo objeto, así como el de los conductos *a b*, explicaremos más adelante.

Las dos piezas *A* están invariablemente reunidas por los traveseros *C C'*, *D D'*. Los vástagos *b'* de los cilindros anteriores, están asegurados á los traveseros *C* por medio de las chavetas *s*, y los de los cilindros posteriores son, también, solidarios de los traveseros posteriores *D D'*.

A los vástagos *b'* de los cilindros anteriores, envuelven los resortes en espiral *x*, los cuales están comprendidos por los platillos extre-

mos z', z. Los z están fijados al travesero C, y los z' están mantenidos en su sitio por los tornillos r' que entran en el travesero móvil V, el cual, á su vez, está ligado á las muñoneras ó correderas K por medio de las varillas c' d'. Estas correderas tienen la forma $F H L M N R S T$ que señala, en sección longitudinal, la figura 2.

Al retroceder el cañón se mueven con él las correderas K, traveseros V y varillas c' d', y permanecen inmóviles las piezas A, con sus traveseros C C', D D', y los émbolos P P', Q Q' con sus vástagos. Los traveseros V comprimen, entónces, los resortes en espiral.

Veamos el modo de funcionar el freno hidráulico. Los cilindros de adelante y de atrás, que son de igual volúmen, están llenos de líquido, de glicerina, por ejemplo. Cuando el cañón retrocede, y con él las piezas K, se disminuye el espacio anterior y aumenta el posterior en los dos cilindros. El líquido que se encuentra delante de los émbolos, comprimido violentamente, pasa detrás de éstos por las ranuras c, y el trabajo resistente que desarrolla al pasar por estos orificios estrechos absorbe la fuerza viva del retroceso de la pieza. El vacío que durante el retroceso tiende á formarse en los cilindros de adelante es llenado contínuamente por una cantidad igual de líquido expulsada por los émbolos de atrás P', y que penetra en los primeros por los conductos a b. Resulta, por tanto, que los cilindros anteriores y posteriores están siempre completamente llenos, y esta constancia de volúmen de los frenos es una condición indispensable para obtener retrocesos regulares y sin choque.

Terminado el retroceso, los resortes x, que se han comprimido, vuelven automáticamente por su fuerza elástica á colocar el cañón en batería. La tensión primitiva de estos resortes se regula por medio de los tornillos r', mediante los cuales se puede variar la distancia de los platillos extremos z', z.

Los cilindros P y P' están cerrados en sus extremos por estoperas m con sus prensa estopas n. En el fondo del estopero m se colocan rodajas de cuero, que son las que hacen la obturación. Los tacos t, de materia elástica, limitan en los dos sentidos la carrera de la corredera.

En el sistema de frenos que nos ocupa están eliminadas las percusiones, y además, como los efectos del retroceso se reparten en los cuatro cilindros, la longitud de éste queda muy reducida.

Los frenos, tipo del Creusot, pueden recibir varias aplicaciones, de las cuales algunas están representadas en las figuras 1 á 6 de la lámina 12.

Las figuras 1 y 2 se refieren á los afustes para torres de plaza ó costa. En la figura 3, las gualderas *A*, están ligadas en su parte superior por el travesero *B*, y la base *C* del afuste resbala sobre carriles circulares. La una *D*, del afuste, impide la rotación de éste alrededor de *C* por efecto del retroceso. La suspensión del cañón se opera por cadenas que pasan por *H* y los correspondientes contrapesos.

Las figuras 5 y 6 representan otras disposiciones que no necesitan explicación alguna.

Puntería en dirección y en altura. Para la puntería en dirección, se hace uso de dos movimientos de rotación de la torre, uno rápido producido por los mecanismos que existen en la cámara inferior, y que ya hemos descripto en otro lugar, y otro lento para terminar la puntería con seguridad y precisión. Este movimiento rotatorio lento se obtiene por medio de un volante colocado en la cámara de tiro y una sencilla combinación de engranajes.

La puntería en altura se hace por medio de un volante que hace girar el piñón que engrana con la cremallera circular ó arco dentado ligado al cañón. Como la pieza está equilibrada por los contrapesos, la puntería en altura se practica con gran rapidez y facilidad.

56. Se hicieron 100 disparos por cada cañón, ó sean 200 disparos en total, empleando todos los ángulos de tiro, desde + 25° hasta — 2°. Después de cada disparo la torre giraba para ocultar las cañoneras al supuesto fuego enemigo. Experiencias.

Tuvimos ocasión de permanecer en el interior de la torre durante estas experiencias, y pudimos apreciar los resultados siguientes:

La obturación de la cañonera es tan perfecta, que no penetra en el interior de la torre la más insignificante cantidad de humo. Para evitar la entrada del que pudiera quedar en el ánima de la pieza al abrir el aparato de cierre, se tiene cuidado, antes de hacer esta operación, de introducir por el fogón la delgada punta del cañón de un fuelle, con el que se sopla un poco, expulsándose de este modo los gases alojados en el interior de aquella. Abrese después la culata sin inconveniente alguno.

Los movimientos de rotación de la torre se hacen con gran facilidad, y lo mismo sucede con los que dan la puntería en altura.

El freno de quijada es tan poderoso, que la torre no tiene el más pequeño movimiento oscilatorio por efecto de los disparos. Bien es verdad que el freno de que están provistos los cañones entra por mucho en este resultado.

Los frenos de los cañones funcionan á completa satisfacción. El retroceso de las piezas fué tan sólo de 13 centímetros, y los resortes en hélice vuelven á colocarlas suave y rápidamente en la posición primitiva.

La detonación no solamente no molesta lo más mínimo, sino que se oye muchísimo ménos que desde el exterior de la torre.

El espacio interior de la cámara de tiro de la torre es suficiente espacioso. Hubo momento en que nos encontrábamos diez personas, sin que por esto resultase molestia para el personal encargado de la maniobra y tiro.

Los montacargas funcionan perfectamente.

En resúmen: el servicio de las piezas se hace perfectamente dentro de la torre, sin que estorben ni el humo ni las detonaciones; los mecanismos de maniobra son sencillos y eficaces, y no se observa la menor vibración ni movimiento anormal por efecto de los disparos. Pudimos comprobar estas buenas cualidades, no solamente en los primeros disparos, sino en los últimos.

Practicóse también la operación de desmontar un cañón y conducirle á la cámara inferior, que duró ménos de tres horas.

Otra parte de las experiencias consistió en disparar cinco proyectiles contra una plancha igual á la del blindaje del casquete de la torre, para apreciar la resistencia del metal.

A 30 metros de la cúpula se colocó la plancha de hierro destinada á las pruebas oficiales de penetración.

De un lote de doce placas semejantes, se eligió la sometida á prueba y de ella se cortó un trozo, de forma irregular (fig. 5, lám. 7.ª), que tenía próximamente $1^{m},50$ de alto y otro tànto de anchura.

Dibujóse en este trozo, con tiza, un cuadrado de 25 centímetros de lado, en cuyo centro, también marcado con yeso, y vértices, habían de colocarse los cinco proyectiles que después se dispararon desde la torre belga con uno de los cañones de 15 centímetros.

He aquí los resultados de esta interesante experiencia:

Peso del trozo de plancha.	2580 kilógramos.
Espesor..	20 centímetros.
Proyectil de fundición endurecida, de la marina francesa, de la fábrica Chatillon-Commentry, de un peso de.	39 kilógramos.

Velocidad en el choque, 329 metros por segundo.

La carga era de 5 kilógramos de pólvora $S. P_2$.

DISPAROS.	Penetraciones en milímetros.
I.	147
II..	148
III..	149
IV.	144
V..	150

Es decir, una penetración media de 147,6 milímetros, siendo solamente 3 milímetros la diferencia entre las penetraciones mínima y máxima. Esto demuestra la gran homogeneidad al par que la resistencia del hierro.

Las penetraciones se midieron con el aparato dibujado en la figura 5 (lám. 7.ª)

Los disparos empezaron por el del vértice inferior de la izquierda y siguieron por la derecha, siendo el último el del centro.

La plancha (fig. 5, lám. 7.ª), no presentó ni la más ligera fisura. Los proyectiles produjeron la impresión de la parte ojiva, rebotando, intactos, á 8 metros de la plancha.

En cada uno de los impactos, el metal apareció con rebordes levantados, muy regulares, en forma de pequeñas láminas escaroladas. Fué una verdadera prueba de plasticidad del hierro.

Resumiendo, esta experiencia demostró la homogeneidad y plasticidad del metal, y que puede resistir, fácilmente, el choque de varios proyectiles, disparados normalmente á la plancha, y agrupados en una pequeña superficie.

Productos de la fábrica "El Creusot"

57. Por el relato que antecede se habrá podido ver que el Creusot fabrica primeras materias metálicas y objetos terminados, con destino á todas las aplicaciones civiles y militares. Prescindiremos, en el ligero exámen de que estos productos vamos á hacer, de todos aquellos que, directamente, no interesan á las aplicaciones militares.

Acero de cañones

58. El metal empleado en el Creusot para la fabricación de las piezas de artillería, es un acero dulce, fundido y forjado, obtenido como sigue:

Elección de buenas menas de hierro y mezcla en proporciones convenientes en el horno alto, para obtener buen lingote de fundición.

Pudelaje de este lingote en los hornos rotatorios Bouvard.

Obtención del lingote de acero fundido, por el método ácido en hornos Martin-Siemens, mezclando en ellos en proporciones convenientes fundición de hierro, pura, hierro pudlado procedente de los hornos Bouvard, y retales de acero.

Forjado del lingote con los gruesos martillos-pilones, ó con la prensa hidráulica.

Recocido de la pieza.

Temple al aceite.

Nuevo recocido.

En los detalles de estas operaciones está el secreto de fabricación y el mérito de los productos. Las mezclas y proporciones, el tiempo dedicado á cada operación, las temperaturas empleadas, influyen grandemente en la bondad de los aceros que se obtienen.

El objeto, no fácil de alcanzar, es producir acero de grano fino y uniforme, homogéneo, de dureza, tenacidad grande, maleable y poco frágil. Ahora bien, todas las operaciones antes enunciadas, si son mal conducidas producen resultados malos.

El lingote obtenido en la colada, será ampolloso en el centro, esponjoso en la costra, y tendrá en la parte superior cavidades alargadas que

pueden penetrar en el corazón de la masa, en dirección de su eje. Las caldas modifican la textura del acero, cuando se llevan á temperaturas elevadas y dan lugar, si el enfriamiento es rápido, á la formación de gruesos cristales. El temple puede producir masas metálicas sumamente quebradizas.

La naturaleza ampollosa del lingote de acero, se evita por adiciones siliciosas al baño metálico en los laboratorios de los hornos Martin-Siemens. El forjado del lingote con las poderosas máquinas que posee el Creusot, anula las cavidades interiores que aún pudieran existir. El torneado ó acepillado de la superficie exterior hace desaparecer el metal defectuoso de la costra, y el cortado, y desecho, de los extremos del lingote, después de estirado por la forja, desecho que comprende $^1/_3$ del peso total, elimina toda causa de temor respecto á las cavidades y defectos que en estas partes puedan resultar. El forjado, además, evita la farmación de cristales gruesos que tienden á producirse por la elevación de temperatura que el lingote ha sufrido en la calda.

La falta de homogeneidad y de resistencia de las diversas partes del lingote forjado, debidas á que la acción de la forja no es igual en la periferia de la masa y en el fondo, se consigue con el recocido que sigue inmediatamente al forjado.

El temple aumenta la dureza, elasticidad y tenacidad del metal, debido sin duda á que, por efecto del enfriamiento rápido de la masa, queda disuelto en el hierro mayor cantidad de carbono. Pero como el enfriamiento es más rápido en la superficie que en el corazón de la pieza sometida á esta operación, el juego de contracciones y dilataciones que el metal sufre, le crea un cierto desequilibrio molecular que le hace quebradizo. El recocido después del temple es el correctivo de este defecto.

Todas estas operaciones están perfectamente estudiadas en sus menores detalles en el Creusot, establecimiento que viene ocupándose de la fabricación de cañones desde la terminación de la guerra de 1870, y en el cual se han practicado por orden del Gobierno francés los estudios y experiencias necesarios para determinar las condiciones que debe reunir el acero para piezas de artillería, y los métodos especiales de la fabricación del metal.

Fabricación de cañones.

59. Daremos una noticia, siquiera sea breve, de los diversos períodos de la fabricación de las piezas de artillería en el Creusot, tomando como ejemplo lo que se practica para la construcción de cañones sistema González Hontoria para la marina.

Con destino á seis cruceros para la marina española, de los cuales tres han de ser suministrados por la casa Rivas-Palmers, de Bilbao, y los otros tres se han de construir en nuestros arsenales, el Creusot fabrica todos los elementos de seis cañones de 28 centímetros y de 30 cañones de 14 centímetros, sistema del General Hontoria, es decir, los tubos, manguitos, sunchos y piezas de culata, todos los cuales deben estar entregados en Cádiz en Agosto del año actual.

Los tubos y manguitos son de acero dulce fundido (fabricado por el procedimiento ácido en los hornos Martin-Siemens), forjado, templado al aceite y recocido después del temple.

El lingote obtenido en la colada es forjado al martillo-pilón, pasando sucesivamente por formas de sección transversal, octogonal y circular.

Del lingote forjado se cortan, como desecho, el extremo que corresponde á la mazarota y parte superior del lingote colado, y el extremo inferior de la base. Como mínimun, las partes desechadas han de ser el 28 por 100 del peso del lingote, en el extremo superior, y el 4 por 100 en el otro extremo, de modo que no se utiliza, como máximum, más que los dos tercios de la masa sacada de la lingotera. Además, la relación de la sección media del lingote, en la parte utilizada, á la sección máxima de éste después de la forja en bruto, ha de ser por lo ménos igual á cuatro, con lo cual se obtiene un estirado del lingote, que es garantía de que el forjado es enérgico y se corrigen con él los defectos del metal en la colada.

Una vez forjados los tubos y manguitos, son taladrados y torneados y sometidos después á un recocido. En seguida, y ántes del temple, se hacen pruebas de resistencia á la tracción con barretas de prueba tomadas de rodajas que se cortan de los extremos de la pieza. Las barretas, que deben ser cilíndricas, se sacan de estas rodajas, según cuerdas de los anillos circulares distantes de las superficies finales 80 milímetros ó 35 milímetros, según que los gruesos de las piezas sean de 14 centímetros ó menores. Estas pruebas no son las finales y no tienen más objeto que el de poseer indicaciones sobre las condiciones mecánicas del metal,

Las dimensiones de las barretas han de ser:

Longitud entre señales extremas.	100	milímetros.
Diámetro..	13,8	»

ó bien las siguientes:

Longitud entre señales..	68	»
Diámetro..	9,4	»

Después del recocido se efectúa el temple al aceite. El calentado de la pieza y el temple se efectúa manteniendo aquella con el eje vertical, durante estas operaciones, y tienen lugar, así como el recocido, en toda la extensión de la pieza, de una vez, y nunca por partes. Las piezas al ser sometidas al temple tienen dimensiones muy poco diferentes de las definitivas.

Cuando alguna pieza queda algo torcida después del temple y hay necesidad de enderezarla con el martillo-pilón, la calda que para esta operación sufre es á temperatura sensiblemente inferior á la del temple. Después son recocidas y templadas de nuevo.

Á toda operación de temple sigue la de recocido, y después se hacen con barretas sacadas de los extremos de la pieza, pruebas de tracción, de choque y de plegado.

En las pruebas de tracción las constantes específicas del acero han de ser como mínimo:

Límite de elasticidad.	32 kilógs. por mm. c.
Coeficiente de fractura.	62 » »
Alargamiento de fractura entre señales. .	14 por 100.

El coeficiente de fractura (62 kilógramos por mm. c.) debe ser superior, lo ménos en 5 kilógramos, al obtenido en las barretas ántes del temple.

Para las pruebas por choque las condiciones varían con las dimensiones de las barretas de prueba, según pone de manifiesto el cuadro siguiente:

CONDICIONES DE LA PRUEBA	BARRAS DE PRUEBA DE SECCIÓN CUADRADA.	
	De 30 milímetros de lado.	De 20 milímetros de lado.
Peso de la maza	18 kilógs.	18 kilógs.
Altura constante de caída	$2^m,75$	$1^m,10$
Distancia entre los cuchillos sobre que se apoya, por sus extremos, la barra de ensayo	$0^m,16$	$0^m,12$
Relieve de los cuchillos	50 milíms.	50 milíms.
Peso del yunque	350 kilógs.	350 kilógs.
Longitud de la barra	200 milíms.	150 milíms.

Colocada la barra sobre los cuchillos, con la cara exterior por debajo, la maza cae sobre el punto medio de aquella. La fractura no ha de producirse antes del golpe número 15 en más de la mitad de los ejemplares sometidos al choque, si las barras tienen 30 milímetros de lado, ni antes del golpe número 20 para las de 20 milímetros de lado. Después de cada golpe se mide la flecha; y si al cabo de un cierto número de éstos la deformación por flexión fuese tal que la cara inferior de la barra tocase al yunque, se invierte la posición de aquélla hasta la terminación de las experiencias.

En las pruebas de plegado, las barras están sujetadas fuertemente por el tercio de su longitud, y reciben, normalmente á la cara más ancha, el choque producido por una maza de 10 kilógramos. Las condiciones de la prueba varían con las dimensiones de las barras, según se manifiesta á continuación:

CONDICIONES DE LA PRUEBA.		BARRAS.		
		Número 1.	Número 2.	Número 3.
Dimensiones de la barra.	longitud.	70 milíms.	67 milíms.	35 milíms.
	ancho.	24 »	24 »	15 »
	grueso.	9 »	9 »	7 »
Altura de caída de la maza.		$0^m,50$	$0^m,50$	$0^m,25$
Número mínimo de golpes antes de producirse la fractura..		12	11	8
Ángulo máximo del plegado antes de la fractura..		120°	125°	135°

Mídese el ángulo de plegado en la cara inferior de la barra.

Más de la mitad de las barras deben satisfacer las condiciones precedentes.

La prueba de plegado sustituye á la de choque, ántes explicada, cuando ésta no pueda tener lugar, en las barras de 20 milímetros de lado de sección transversal.

Si la fábrica estima conveniente dar á los manguitos y tubos un nuevo recocido ó nuevo temple, se repiten las pruebas después de estas operaciones, y no se tienen en cuenta las anteriores.

Los tubos sufren además pruebas con pólvora, para lo cual se introduce la carga colocándola entre dos proyectiles de 280 kilógramos de peso, y el objeto es producir en el ánima del tubo presiones inferiores al límite de elasticidad del metal. Se hace en cada tubo tres pruebas, una en la culata, otra en el centro y la tercera en la boca, debiendo obtenerse 2100 kilógramos de presión por centímetro cuadrado en el primer punto, 1900 kilógramos en el segundo y 1100 en el tercero, sin que después de esto presente el tubo dilatación ni defecto alguno.

Los sunchos se someten á las mismas operaciones y pruebas que los tubos y manguitos, sacándose las barretas de prueba de la rodaja que designa la comisión inspectora, elegida entre las que proceden de un mismo lingote. Las constantes específicas del metal han de ser:

Límite de elasticidad..		32 kilógs. por milím.^{2}
Coeficiente de fractura por extensión.. . .		62 » »
Alargamiento.	sunchos ordinarios.. . . .	14 por 100.
	sunchos de muñones. . .	12 »

Del lingote, forjado, se cortan grandes rodajas, de cada una de las cuales se fabrica un suncho. La rodaja se reconoce; después se taladra en el centro, y este orificio se ensancha, hasta formar un anillo, por medio de la forja ó del laminado; se acepillan y tornean, después, hasta dejarlos próximamente con las dimensiones definitivas, sometiéndolos después á las operaciones de temple y recocido.

De la rodaja designada de antemano para las pruebas, y que habrá recibido mayores dimensiones con este objeto, se sacan las barretas para las pruebas de extensión, choque ó plegado, que acabamos de indicar, y que se harán después que el metal ha sufrido el temple y recocido.

A más de estas pruebas, se practica otra importante, de mandrilado, empleando un mandril macizo, tronco-cónico, de generatriz inclinada 1 : 200 con respecto al eje. El mandril penetra á golpe de maza, á ser posible de un solo golpe, hasta que se produzca una distensión, en el suncho, de 2,5 milímetros por metro, y se saca en seguida. Es preciso que la dilatación permanente producida en el suncho por esta rigurosa prueba, no exceda de 1 milímetro por metro.

Cuanto á los sunchos de muñones, se someten á una prueba de fractura que tiene por objeto no solamente determinar la resistencia de los muñones por esfuerzo cortante, sinó también examinar la calidad y textura del acero, por la inspección de las superficies de fractura. Al efecto, el suncho elegido para la experiencia se coloca sobre las muñoneras ó soportes de un yunque, en la misma disposición y situación en que la pieza, supuesto vertical su eje, había de estar en el montaje.

Sobre la cara superior del suncho, que resulta horizontal, se coloca una rodaja de acero encargada de repartir uniformemente los choques de la maza, y se dispone el peso del martillo-pilón y su altura de caída, de modo que la cantidad de trabajo en el choque, sea para el cañón de 14 centímetros, como máximum, de 13.000 á 15.000 kilográmetros. Sin embargo, cuando en estas condiciones al golpe número 40 no se han roto los muñones, se aumenta la fuerza viva de choque hasta conseguir la fractura.

A más de estas pruebas, se practican las ya conocidas de tracción, choque ó plegado, como para los sunchos ordinarios, manguitos y tubos.

Por lo que respecta á las piezas de culata, los detalles de fabricación y las pruebas son los exigidos por la marina francesa. (Instrucciones de 12 de Julio y 8 de Agosto de 1889.)

Inútil es decir que la comisión oficial encargada de la vigilancia de la construcción, no solamente tiene entrada libre en los talleres á todas horas, sino que tiene conocimiento de todas las operaciones metalúrgicas y detalles de fabricación, y presencia los ensayos químicos y pruebas mecánicas, desde la fusión del metal hasta la terminación de las piezas. En este punto el Creusot se distingue de otros establecimientos análogos, especialmente del tan renombrado de Krupp, en el cual hay un verdadero empeño en negar todo dato y en dificultar toda inspección, temerosos, sin duda, de dar á conocer las operaciones más vulgares.

Durante la fabricación, pueden ser desechadas las piezas que presenten defectos que influyan en su resistencia, á juicio de la comisión inspectora.

En los cañones que, por completo se fabrican en la casa, se practica el sunchado, rayado, roscado de la culata, etc., etc., por los procedimientos conocidos y cuya descripción no es de este lugar.

Desde 1875, el Creusot ha proporcionado al ejército francés 366 cañones y los elementos de otros 4829, no sólo de campaña (90 milímetros de calibre) y montaña (calibres de 80, 75 y 65 milímetros) sino tambien de calibres de 15,5 y 24 centímetros. A la marina francesa, ha suministrado elementos para 500 cañones de grueso calibre. Al ejército y marina ha dado 2198 afustes, de campaña, montaña, sitio, plaza y costa y marina.

También ha fabricado cañones, ó elementos, para la marina española, para Italia (elementos del cañón de 100 toneladas sistema Rosset), Estados Unidos, China y Japón.

60. Para su fabricación, se emplean hierros de excelente calidad. Cada plancha se forma en el empaquetado, de otras tres, dos tapas y un alma ó núcleo, las cuales, á su vez, han sido construídas con paquetes de palastro de 20 á 30 milímetros de espesor. **Planchas de hierro laminado.**

Formado el paquete con las tapas y alma, y llevado á la temperatu-

ra del blanco soldante en los hornos de calentado, se lamina en laminador universal, ó en laminador ordinario. El primero tiene la ventaja de producir la laminación de los bordes laterales, con lo cual no es necesario cortar con la sierra, y acepillar después, las gruesas rebabas que da el segundo, operaciones éstas lentas y costosas. La prensa hidráulica de 6000 toneladas, dá la curvatura correspondiente á la plancha, llevando ésta, preliminarmente, al rojo en los hornos correspondientes.

La buena calidad de las planchas de hierro laminado está demostrada por los ensayos hechos en diversas épocas y de que dan idea los datos expuestos en el número *53* y por los que tuvimos ocasión de presenciar (núm. *56*).

Metal Schneider. Planchas de blindaje.

61. El metal Schneider parece no ser otra cosa que un acero dulce, fundido en los hornos Martin-Siemens, forjado, y templado al agua dos veces. Se destina á planchas de blindaje.

El acero, si bien más duro que el hierro, tiene el defecto de ser más frágil que éste, lo cual es un inconveniente para su aplicación á los blindajes. Para eliminar este defecto, ó cuando menos disminuirlo, y aumentar en cambio la tenacidad, el Creusot, después de cuidadosos ensayos que datan de 1880, emplea el doble temple. Después de las operaciones que hemos detallado al hablar de la fabricación del metal de cañones, para obtener el lingote de acero, se forja éste, al martillo-pilón, se recuece, se templa al agua, llevando al efecto la masa á la temperatura del rojo cereza, y vuelve á templarse al rojo sombrío. El doble temple hace adquirir al metal más nervio, y sobre todo mayor resistencia al choque, según se ha demostrado en las experiencias de Specia (1876 á 1884), Amager (Copenhague 1883 y 1890), Châlons (1888 y 1889), Annápolis (Estados Unidos 1890) y Ochta (Rusia 1890), en las cuales las famosas planchas compound, de hierro y acero, han resultado muy inferiores.

Daremos noticia de los resultados de estas experiencias más adelante (número *63*).

Merecen citarse las experiencias efectuadas no ha mucho en Gavre (polígono de la marina francesa) con planchas de acero Schneider destinadas al acorazado chileno *Capitán Prat.*

La plancha escogida para la prueba (figs. 1 y 2, lám. 8.ª) tenía $5^m,58$ de longitud, $2^m,66$ de ancho, $0^m,205$ de espesor en la parte superior y

$0^m,135$ en la inferior. Se dispararon tres proyectiles de fundición templada, de 45 kilógramos de peso, con velocidades en el choque, respectivamente, de 446, 445 y 447 metros por segundo, formando los impactos un triángulo equilátero, de base horizontal, de 38 centímetros de lado.

Los dos primeros proyectiles se rompieron en la parte ojival, y el tercero en mayor número de trozos.

La plancha presentó solamente, después de los disparos, tres ligeras grietas á partir del primer impacto. Ni el almohadillado ni los pernos que lo unían á la plancha presentaba fractura alguna.

62. El niquel, descubierto en 1751 por el mineralogista sueco Cronstedt no era, hasta hace pocos años, más que un metal de laboratorio, más empleado por los químicos que por los industriales. Hoy la industria se ha apoderado de este interesante metal y hace de él numerosas aplicaciones, utilizando su ductibilidad y maleabilidad que permiten reducirlo á hojas de $0^m,0003$ y á alambres de $0^m,00014$ de diámetro, su tenacidad doble de la del hierro, las cualidades de inoxidación al aire, temperatura elevada de fusión, etc., etc. **Planchas de acero niquelado.**

Hoy el niquel es empleado en la fabricación de moneda, en la de receptores, piezas de máquinas, de material de ferrocarriles, de aparatos diversos, y hasta en utensilios de menaje y cocina.

En una palabra: la industria del niquel está llamada á representar un importante papel en lo porvenir, y comienza á llenarlo en la metalurgia del acero.

Un inconveniente para su empleo es su elevado precio, pero este va disminuyendo cada día á medida que se fabrica en mayores cantidades y por efecto de nuevos descubrimientos de mineral de niquel. Unas 600 toneladas de este metal se producían, hace veinte años, en todo el mundo, así es que el precio de la libra en Inglaterra era de 11 chelines. Hoy cuesta poco más de 2 chelines la libra, y solamente en Nueva-Caledonia se producen 900 toneladas anuales.

Nuevos yacimientos de niquel se han descubierto recientemente en los Estados Unidos, Canadá y Rusia, y á medida que tome incremento esta metalurgia disminuirá aún más el precio de este metal, haciéndose verdaderamente prácticas, en concepto económico, sus aplicaciones. Una de las más importantes para el ingeniero militar y el ingeniero naval, es

la realizada en el Creusot con la fabricación de los aceros al niquel, ó aceros niquelados para planchas de blindaje.

Una pequeña proporción de niquel, agregada al acero, le da cualidades tan excepcionales de resistencia, que puede asegurarse que el acero niquelado ocupa hoy el primer lugar en los metales aplicables á blindajes y obras de defensa, y así lo han demostrado recientes experiencias de que damos cuenta en el número *63*.

Sabidos son los resultados excelentes obtenidos por la adición de algunas centésimas de cromo al acero. Los aceros cromados, de que se ha hecho también uso en construcciones civiles (puente de San Luis sobre el Mississipí), dan excelentes proyectiles, de una dureza y resistencia considerables, como que se ha dado el caso de que proyectiles disparados sobre planchas metálicas han podido ser utilizados, sin modificación ni arreglo, en nuevos disparos.

La fabricación de gruesas planchas de acero cromado halló graves dificultades en las operaciones de forjado y laminado, pero la idea de obtener aceros duros y tenaces, mezclando otros metales, condujo á los ingenieros del Creusot á emplear el niquel, y la experiencia ha acreditado la bondad de esta idea. Las proporciones de niquel y los detalles de fabricación, se guardan con toda reserva en el Creusot y no nos ha sido posible conocerlas.

Experiencias comparativas de Annápolis, con planchas Cammell, y de acero ordinario y niquelado.

63. En el polígono de la marina que los Estados Unidos tienen establecido en Annápolis, se hicieron por cuenta del Ministerio de Marina de esta nación interesantes experiencias en los días 18 y 22 de Septiembre de 1890, con objeto de comparar el valor defensivo de las planchas de blindaje Cammell (*), planchas de acero Schneider y de acero niquelado, todas tres de 258 milímetros de espesor.

Dispusiéronse las planchas sobre un arco de círculo de 8,50 metros de radio, en cuyo centro se situó el cañón que había de disparar sobre ellas. El orden de colocación, de izquierda á derecha, fué el siguiente: plancha de acero Schneider; plancha de acero niquelado; plancha Cammell.

(*) Sabido es que las planchas Cammell, como las Brown, son mixtas de acero y hierro. En las Cammell se vierte acero fundido sobre una plancha de hierro y se lamina el todo hasta reducir en un tercio el grueso. Las Brown llevan sobre la parte de acero fundido una capa de acero laminado.

Experiencias del día 18 de Septiembre.

Cañón de 152 milímetros, de 35 calibres de longitud, fabricado en la fundición de Washington.

Proyectiles de acero cromado Holtzer (de Unieux), de 45 kilógramos de peso.

Velocidad inicial de 632 metros por segundo.

Carga del cañón 44 y $^1/_4$ libras de pólvora, de fabricación americana, que producían 15 toneladas de presión por pulgada cuadrada en la recámara (23 kilógramos por milímetro cuadrado).

Se hicieron cuatro disparos (números I á IV), formando los impactos un rectángulo de 1^m,20 de lado mayor, vertical, y 0^m,60 de lado menor, horizontal.

Las planchas, de grueso uniforme, de 258 milímetros, tenían, aproximadamente, 2^m,40 de altura y 1^m,80 de ancho.

Disparos I. (A la derecha de las planchas, en la parte inferior.) (Véanse las figuras 1 y 2 de la lámina 13 y 1 de la lámina 6.ª)

Plancha de acero Schneider.—El proyectil atravesó la plancha quedando la punta á 92 milímetros más allá de la cara posterior. No se produjeron grietas, y el metal, á 5 centímetros de los bordes del impacto, quedó tan sano como antes del tiro.

Plancha Cammell.—El proyectil perforó la plancha penetrando en el almohadillado de madera hasta quedar la base á 28 centímetros de la cara posterior de aquella. El agujero resultó ser muy irregular produciéndose tres grandes grietas, y otras varias más pequeñas, de las cuales dos llegaban á los bordes de la plancha. El metal, en las inmediaciones del impacto, se rompió en pedazos que fueron lanzados á gran distancia.

Plancha de acero niquelado.—La parte anterior del proyectil quedó incrustada en la plancha, y la posterior se proyectó á 8 metros de distancia. El metal no presentó grieta superficial ninguna.

Disparos II. (A la izquierda, parte inferior.) Plancha de acero Schneider. Plancha atravesada, pero sin producir hiendas ni proyecciones de metal.

Cammell.—Plancha perforada, atravesando el proyectil, también, el almohadillado de madera. Pedazos de acero arrancados y lanzados á

gran distancia. Aparecen hendiduras de uno á otro punto del impacto, y las ya existentes, obra del disparo I, se ensanchan.

Acero niquelado.—El proyectil penetra sin producir hienda alguna. Su base queda á 57 milímetros de la cara anterior de la plancha.

DISPAROS III. (A la derecha, parte superior.)

Acero Schneider.—El proyectil, después de penetrar hasta 300 milímetros, rebatiendo ligeramente el metal alrededor del impacto, rebotó, sin deformación aparente, hasta cerca del cañón.

Cammell.—Fueron proyectados algunos fragmentos de la plancha. Placa perforada, apareciendo un gran número de hiendas profundas. El almohadillado se incendió.

Acero niquelado.—Como en el disparo II. La base del proyectil quedó 9 centímetros fuera de la cara anterior de la plancha.

DISPAROS IV. (A la izquierda, parte superior.)

Acero Schneider.—El mismo resultado que en los disparos anteriores. El proyectil se rompió.

Cammell.—El proyectil atravesó la plancha y el almohadillado, rompiéndose, y penetrando profundamente en el macizo de tierras uno de los fragmentos. La plancha quedó desprovista de una gran parte de la capa de acero exterior.

Acero niquelado.—Se rompió el proyectil, cuya punta llegó hasta la cara posterior. Ninguna hendidura.

Experiencias del día 20 de Septiembre.

Se disparó contra el centro del rectángulo á 9 metros de distancia, con cañón del calibre de 20 centímetros, lanzando proyectil de acero Scheffield, de 95 kilógramos de peso, con velocidad inicial de 563 metros.

Plancha de acero Schneider.—Plancha atravesada y proyectil roto en tres fragmentos principales. Agujero ménos regular que los producidos por el cañón de 15 centímetros. Del nuevo punto de impacto se dirigen hiendas hácia los otros cuatro, y continúan hasta los bordes de la plancha, en forma de cruz de San Andrés. La plancha, no obstante, se mantiene en su sitio, y se considera todavía útil para dar protección.

Cammell.—Al choque del proyectil, que atravesó la plancha, el almohadillado y $4^{m},50$ de espesor de tierra, vuelan en todas direcciones numerosos fragmentos, algunos de grandes dimensiones. La cubierta de acero

desaparece, excepto en una pequeña faja vertical de 15 centímetros de ancho, junto á los bordes. La plancha, que quedó fuera de combate en la primera sesión, resultó destruída é incapaz de dar protección alguna.

Acero niquelado.—Impresión de 25 á 30 centímetros de diámetro y 8 á 10 centímetros de profundidad, rompiéndose el cuerpo del proyectil y quedando incrustada la ojiva. Ninguna hendidura en la placa, ni aun superficial.

El resultado de estas experiencias no puede ser más concluyente. Una derrota para el metal mixto Cammell, y una victoria para los aceros del Creusot, especialmente para el acero niquelado, que demuestra ser un metal muy duro, muy resistente y nada quebradizo. La plancha de acero niquelado quedó intacta, á excepción de los impactos, y sin la menor hienda. Los proyectiles ó se rompían ó quedaban incrustados á guisa de tapones. Verdaderamente no se puede pedir más.

Cierto es que el cañón de 20 centímetros no es, ni con mucho, el de mayor calibre que se puede emplear, pero téngase en cuenta el espesor de la plancha, que solamente es de 258 milímetros, y sobre todo, compárese el resultado obtenido con el que dió la plancha mixta Cammell.

Tan concluyentes consideraron estas experiencias en los Estados Unidos, que el Ministerio de Marina decidió adoptar el acero niquelado para el acorazamiento de los barcos, y el Congreso votó un crédito de un millón de dollars para la adquisición de mineral de niquel (*). El gobierno americano ha hecho proposiciones al Creusot para montar en grande, en los Estados Unidos, la fabricación de las planchas de acero niquelado.

Unión de las planchas de blindaje al almohadillado de madera.

64. El Creusot emplea un sistema de pernos, patente de la casa, adoptado en la marina francesa, exclusivamente, y en otras naciones.

El perno (fig. 2, lám. 4.ª) atraviesa el almohadillado, pero no la plancha, y penetra en ésta tan sólo por una pequeña parte roscada. La extremidad interior del perno está terrajada también, y el aprieto se hace con la tuerca *B* y ovalillo *D*, que prensa la rodaja *F* de caucho contenida en la cápsula de acero *C*.

El perno es de acero dulce, y su cuerpo *A* está adelgazado para que

(*) El mineral de niquel es una de las materias exentas de derechos por el famoso *bill* Mac-Kinley.

resulte del mismo diámetro que tiene el núcleo de las partes terrajadas extremas, á fin de que, siendo igual la resistencia en toda su longitud, pueda efectuarse el alargamiento del cuerpo del perno, por efecto de las deformaciones producidas por el choque de los proyectiles, y no salten los extremos terrajados, ni las tuercas, que harían así el efecto de una verdadera metralla en el interior del espacio acorazado.

El cuerpo del perno se introduce en el tubo de hierro *E*. Las rodajas *G* de guttapercha hacen el oficio de estoperas. El objeto del tubo y de las rodajas *G* es impedir la entrada del agua por los taladros abiertos en la madera. Si se trata de un acorazamiento interior, ó de cualquiera otro en que no sea de temer esta circunstancia, se pueden emplear los tirafondos *A* (fig. 1, lám. 4.ª) sin tubo, rellenando el espacio cilíndrico anular *D* con cáñamo ó con un tubo de madera.

En estos tirafondos, la tuerca del lado opuesto á la plancha está sustituída por una cabeza. *B* es la rodaja de acero, y *E* la de caucho.

Las ventajas de los sistemas de sujeción descriptos, son: primero, no se debilitan las planchas, como sucede cuando los pernos las atraviesan, dado el gran número de éstos que conviene poner, siempre, á fin de que los trozos de blindaje rotos por los proyectiles queden adheridos al almohadillado y continúen dando protección; segundo, las cabezas de los pernos, y las tuercas, no son tan peligrosas, para el interior de los espacios blindados.

Cuanto al número y dimensiones de los pernos, las marinas francesa é italiana siguen esta regla: La sección total de los pernos, en el cuerpo, ha de ser de 33 á 50 centímetros cuadrados por cada tonelada de placa. El diámetro de dicho cuerpo es de 40 milímetros para planchas de grueso menor de 20 centímetros, de 90 milímetros para espesores de 40 centímetros, ó más, y de 50 á 80 milímetros para gruesos de plancha de 20 á 35 centímetros.

Los pernos tipos del Creusot, se han empleado en el *Pelayo*, y también en los acorazados italianos *Duilio*, *Dandolo*, *Lepanto* y *Ruggero di Lauria*, en el danés *Tordenskjold* y en el sueco *Svea*.

Torres, emplazamientos acorazados para cañones, observatorios, etc.

65. Además de las torres para cañones de 15 centímetros del tipo suministrado al Gobierno belga, y cuya descripción hemos dado en el número *55*, el Creusot construye los tipos siguientes:

Fig.ª 1.

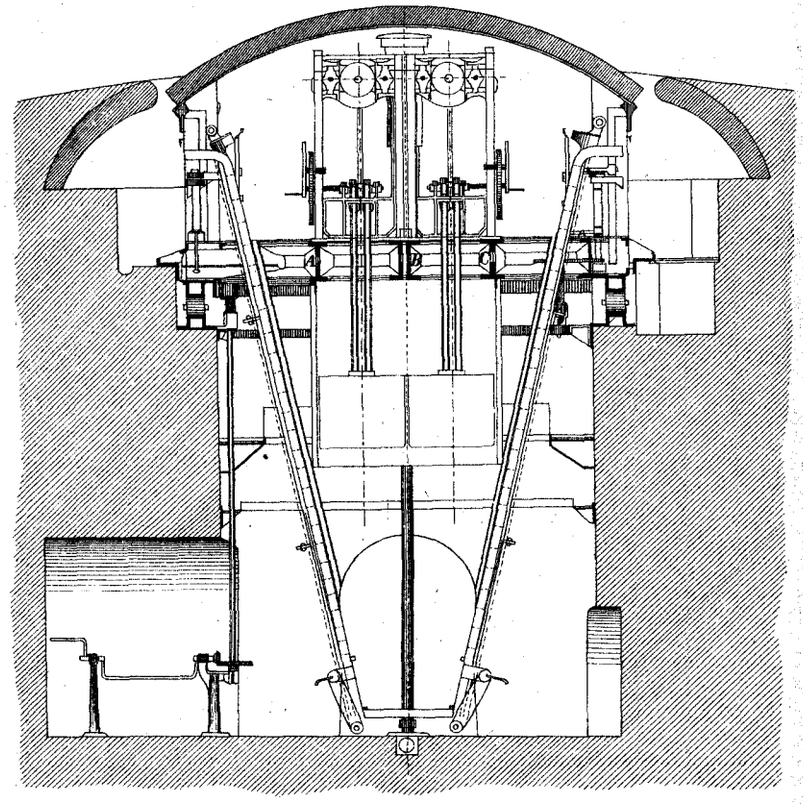


Fig.ª 2.

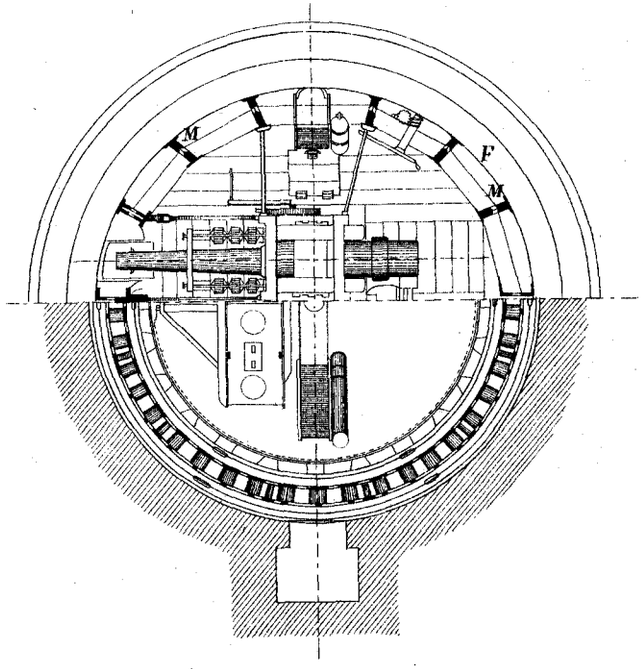


Fig.ª 1.

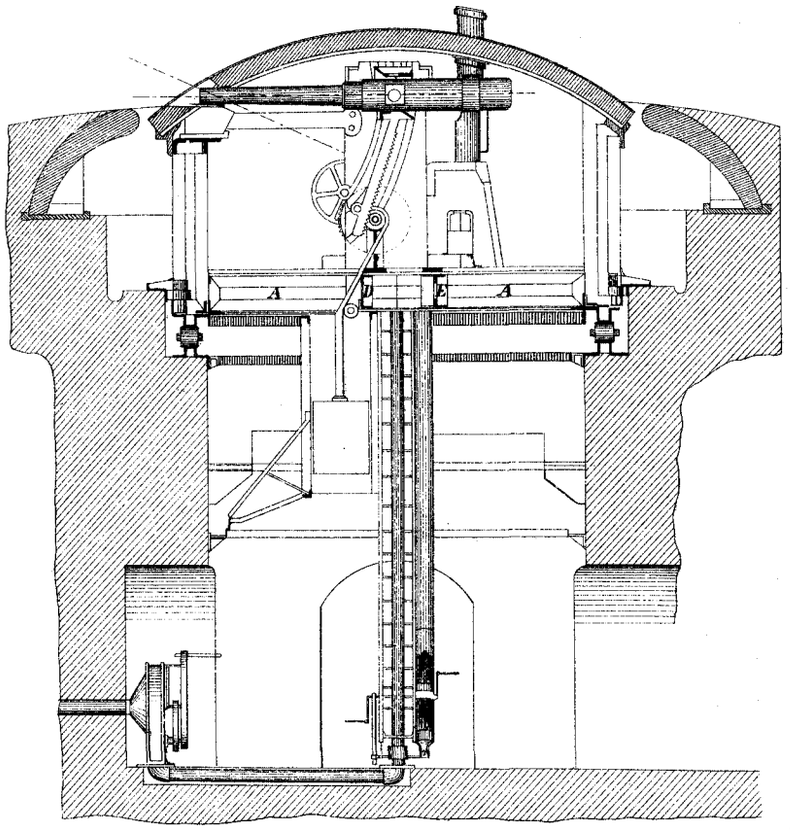


Fig.ª 2.

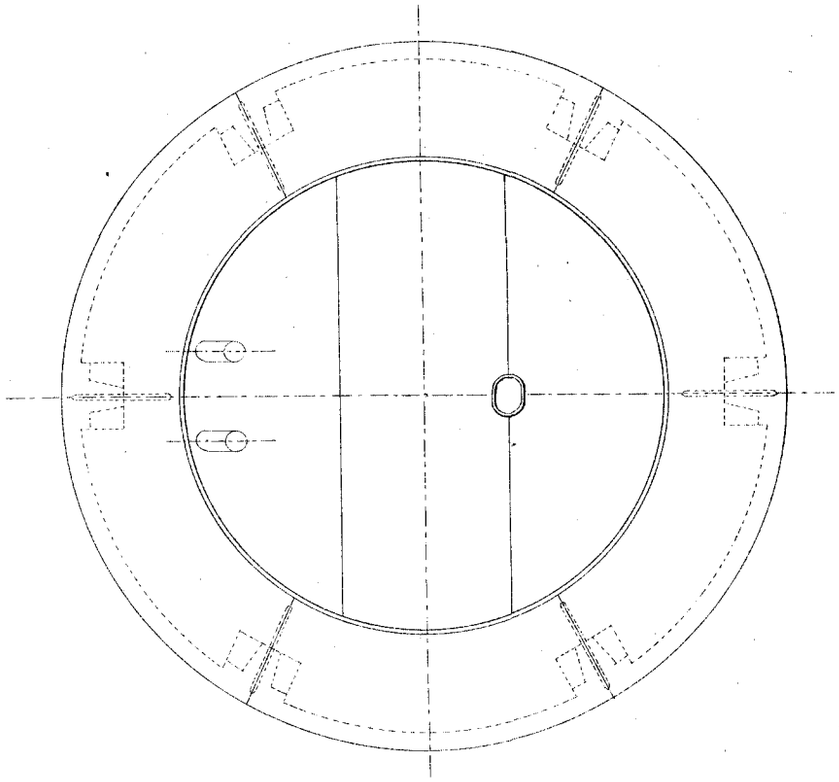


Fig.ª 1.

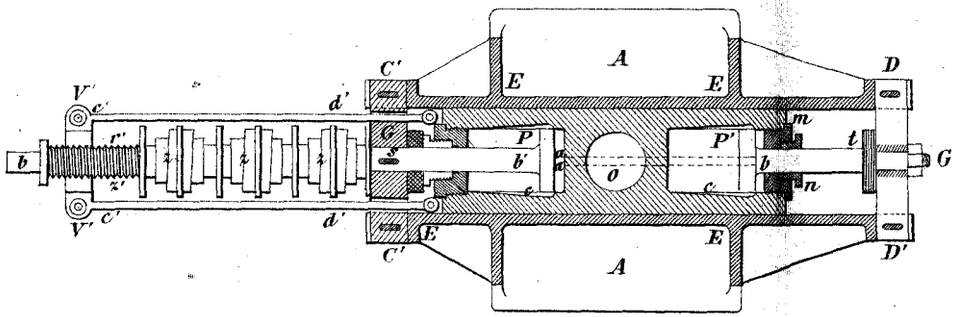


Fig.ª 3.

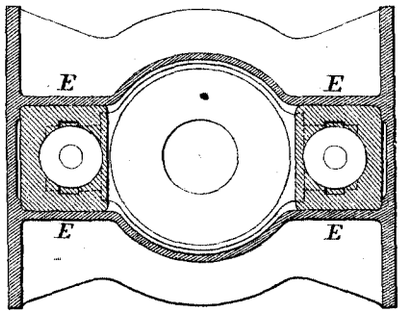


Fig.ª 2.

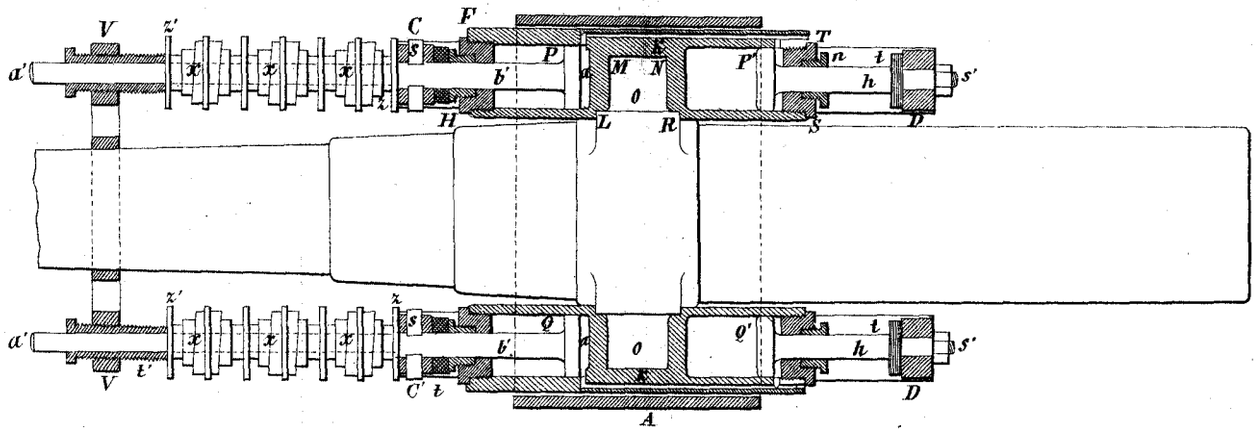


Fig.ª 1.

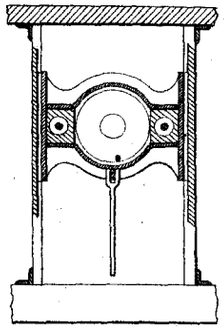


Fig.ª 2.

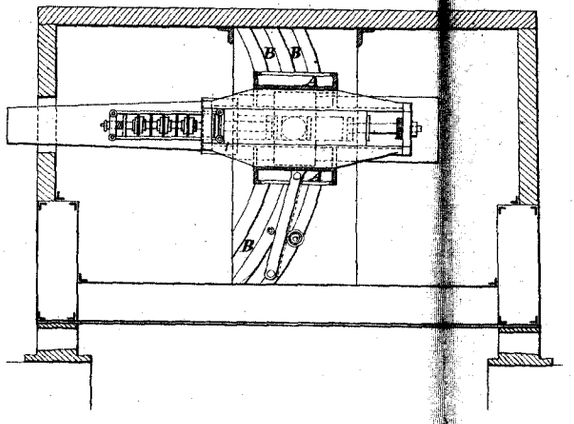


Fig.ª 3.

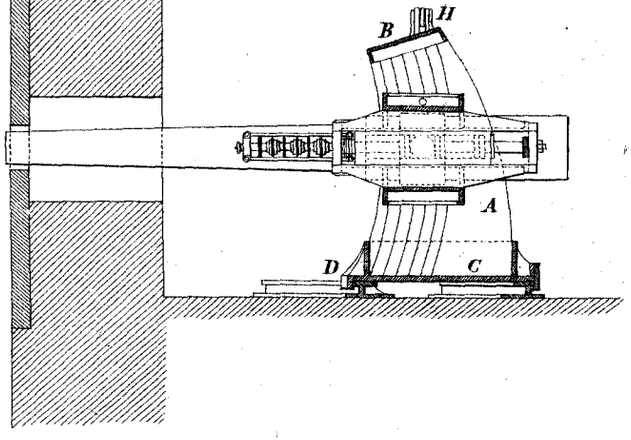


Fig.ª 4.

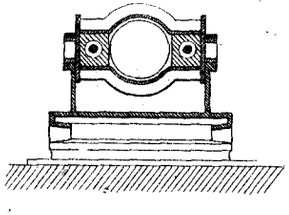


Fig.ª 5.

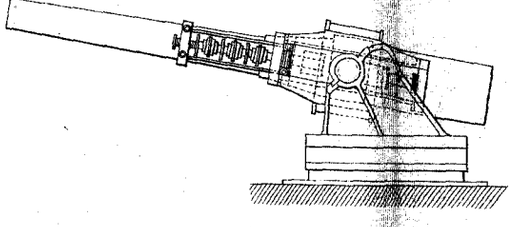


Fig.ª 6.

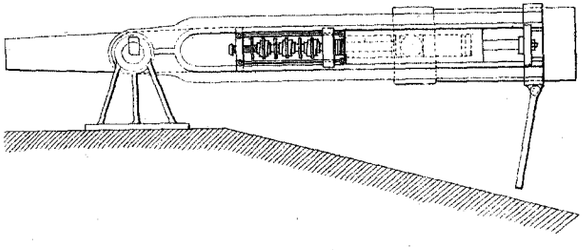


Fig.ª 1.

Acero Schneider

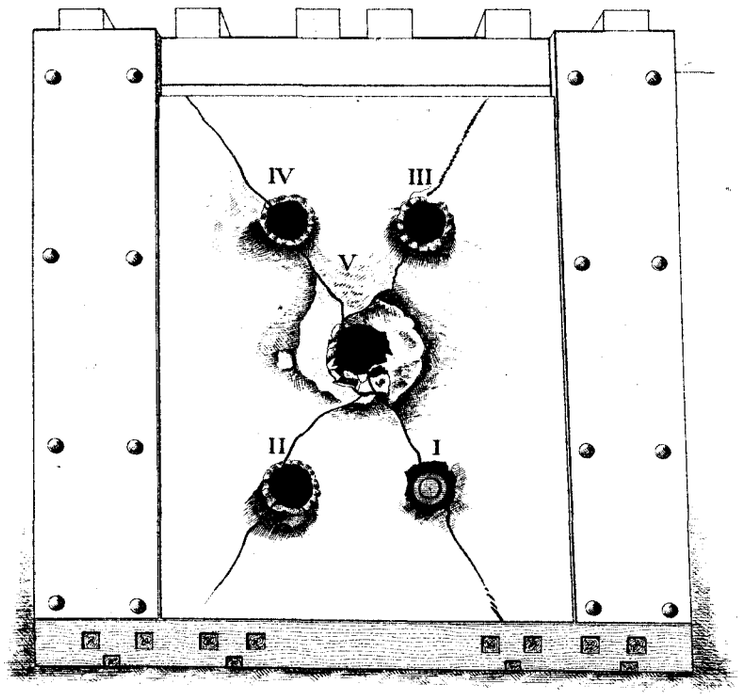
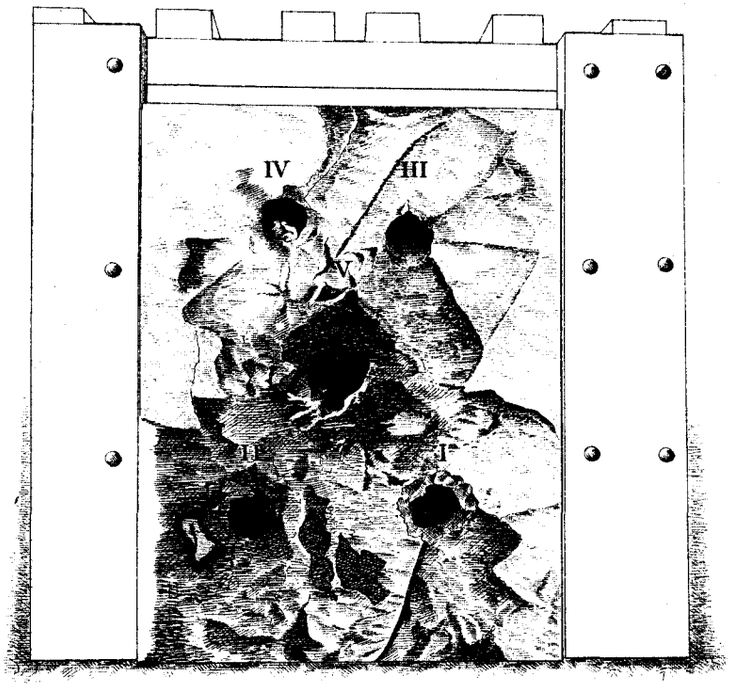


Fig.ª 2.

Metal mixto Cammell



Torre de pivote central, para dos cañones de 24 centímetros y 30 calibres de longitud.

Torre sin pivote, para dos cañones de 15 centímetros y 25 calibres.

Torre hidrostática de eclipse, sistema Souriau, para dos cañones de 25 centímetros y 25 calibres.

Torre de eclipse, para cañón de tiro rápido, calibre de 53 milímetros.

Caponeras acorazadas.

Observatorios y faros acorazados.

No nos detenemos en la descripción de estos elementos de defensa, por ser sobradamente conocidos de todos los oficiales de Ingenieros (*), y nos limitaremos á hacer ligeras consideraciones críticas, surgidas por el exámen que hemos tenido ocasión de hacer de sus condiciones, en vista de los dibujos detallados y noticias relativas á su construcción, que nos facilitaron los ingenieros del Creusot.

Prescindiremos de la torre de pivote central, que consideramos anticuada.

66. La torre sin pivote, para dos cañones de 15 centímetros, de 25 calibres, tipo del Creusot, es, á nuestro entender, inferior al tipo construído para los belgas, ya descripto en el número *55*. Cierto es que los mecanismos de movimiento son sencillos y no requieren otra fuerza que la de los hombres encargados de la maniobra; pero así como las rotaciones para la puntería en dirección se ejecutan bien, de modo enteramente semejante al empleado en la torre belga y en las del Grusonwerk, creemos que las disposiciones para la puntería en altura son ménos sólidas y prácticas. Las gualderas con ranuras circulares, y el sistema de contrapesos en los tipos belga y del Grusonwerk, que forman un conjunto completamente independiente del casquete esférico, á más de facilitar la puntería permiten continuar el fuego aun cuando dicho casquete esté deformado ó roto por el choque de los proyectiles, lo cual no sucederá en el tipo del Creusot, porque las cadenas de suspensión de los cañones pasan por poleas fijadas en el intradós del casquete.

(*) *Les Industries du Creusot. Le materiel de guerre.* Par le lieutenant-colonel Hennebert.—Paris, librerie Plon, 1890.

Las cañoneras son grandes y las bocas de las piezas no tienen protección. El humo de los disparos ha de invadir el interior de la torre, haciéndola poco habitable.

El freno hidráulico es, por todos conceptos, inferior al empleado por el Creusot en las torres belgas.

67. La torre hidrostática de eclipse para dos cañones de 15 centímetros, del coronel Souriau, es ingeniosa, pero poco práctica. El autor, queriendo evitar el empleo de motores de vapor, hidráulicos ó de aire comprimido, que exigen un entretenimiento constante y son de manejo complicado, hace uso, como es sabido, de un gran flotante, contenido en una gran cavidad en donde se aloja la cuba de hierro galvanizado que contiene el agua, sobre el cual se asienta la torre propiamente dicha. Resultan á la torre movimientos demasiado lentos, pues en el de elevación, para hacer fuego, ó en el de eclipse, se invierten quince segundos cuando ménos, y el de rotación completa exige dos minutos.

El coronel Souriau, presente en las experiencias del Creusot, y con el cual tuvimos el gusto de hablar, reconoce con gran modestia este inconveniente del sistema de torres de su invención. Cierto es que para cañones de 15 centímetros, no es tan fácil conseguir los movimientos de eclipse con la facilidad y rapidez obtenidas en los afustes de cañones de tiro rápido sin apelar á máquinas complicadas.

68. Cuanto á las torres de eclipse para cañones de tiro rápido de 53 milímetros, son ménos sencillas y ocupan más espacio, especialmente en altura, que las similares construídas en el Grusonwerk. Además, el movimiento de eclipse obtenido por los engranajes, es ménos rápido que el que se consigue con palancas y contrapesos en los afustes acorazados Gruson-Schumann.

69. Construye también el Creusot los aparatos y disposiciones para instalar piezas, con protección dada por blindajes ó escudos, ideados por el ingeniero Mr. Creuzé de Latouche. El sistema Creuzé de Latouche es ya conocido de los oficiales de Ingenieros (*) y nos creemos dispensados de su descripción.

(*) Véase el folleto *Description des différents dispositifs pour l'installation des bouches á feu dans les places, systime Creuzé de Latouche*, y el gran atlas que le acompaña.

70. El pozo blindado para cañón ú obús de mediano ó gran calibre, con disposición de eclipse, á causa de su techo blindado, plano, está más oculto á los fuegos del enemigo que el casquete esférico de las torres ordinarias. Es buena la idea de hacer móvil, en sentido vertical, tan sólo una pequeña parte del blindaje del techo, juntamente con el cañón, y muy conveniente también la supresión de la coraza cilíndrica próxima al techo blindado. En cambio encontramos poco práctico el recuperador hidroneumático que sirve de motor para los movimientos de elevación y eclipse del cañón. Es un aparato delicado que exige cuidado y entretenimiento constantes, y expuesto á frecuentes averías que pueden inutilizar en un momento crítico la pieza. Más sencillo es el mecanismo de los criks hidráulicos, y sin embargo, nos ha sucedido frecuentemente en la práctica de algunas construcciones no poder hacer uso de ellos y tener que apelar á los criks ordinarios.

Los mismos inconvenientes encontramos en la torre para mortero de 15 centímetros.

71. El pozo blindado, con elevador vertical, para dos cañones de tiro rápido, de 57 milímetros, da más protección á éstos que los afustes acorazados similares, pero es de más complicada maniobra.

72. Pueden prestar buen servicio para proteger y servir la artillería móvil, porque entendemos que ésta ha de desempeñar importante papel en la defensa, ya para reforzar la de los frentes atacados, ya como medio de eludir la acción destructora de la artillería del ataque.

El carretón elevador, móvil, de eclipse, para obuses y cañones de mediano calibre, circulando por vía de $1^{m},20$ de ancho y permitiendo la colocación de la pieza en emplazamientos ya preparados de antemano, provistos de plataformas giratorias, sería aceptable si no fuese por el empleo que en él se hace, como aparato elevatorio, del recuperador hidroneumático, cuyos inconvenientes acabamos de manifestar.

Mucho más práctico nos parece el carretón móvil para dos cañones Hotchkiss de 57 milímetros, con escudo y disposición de eclipse.

Como el elevador de plano inclinado es paralelo á la masa cubridora, no son necesarias plataformas giratorias, como en el tipo anterior. Además, el eclipse de las piezas y escudo protector se hace por medio de contrapesos y órganos sencillos, cuyo entretenimiento y empleo no ofre-

cen dificultades. Tal vez fuese aplicable este sistema, con pequeñas modificaciones, á cañones de mediano calibre.

Puentes desmontables para vías férreas

73. No nos detendremos en encarecer la importancia del problema que en campaña ha de resolverse con un material desmontable, portátil, de puentes metálicos, que sirven para la reconstrucción de los de vía férrea inutilizados en la guerra. Sabido es que entre los tipos conocidos figura el del coronel Marcille, jefe del regimiento francés de Zapadores-ferroviarios.

El material Marcille, que en unión del tipo Henry está adoptado como reglamentario en Francia, es construído en el Creusot.

En el número *19* nos ocupamos con más detalles de este tipo de puentes.

También tienen en estudio los ingenieros del Creusot un tipo de pila metálica, desmontable, que permita la división en varios tramos de los destruídos, y el empleo, por tanto, de vigas de menor longitud. Ya hemos dado en el número *22* nuestra opinión respecto á las pilas desmontables.

Puentes portátiles de campaña, sistema Pfund, para peatones y carros ordinarios.

74. Conocida es la dificultad de la construcción de los puentes de caballetes, especialmente cuando no se dispone de pontones ó flotantes. La construcción del caballete y su colocación en obra de modo que la cumbrera quede á la altura conveniente, son operaciones que exigen tiempo y cuidados, y para simplificarlas ideó el Mayor de Ingenieros, Paul Pfund, el sistema de puentes que lleva su nombre.

Recordaremos que la cumbrera *d* (figuras 1 y 2, lám. 14) lleva en cada extremo dos pies de caballete *c*, que pasan por los manguitos *a* articulados á *d*. La colocación de los caballetes tiene lugar del modo que indican las figuras 3 y 4 (lám. 14). Colocado un extremo sobre el estribo *A*, se hace correr hasta que su extremo, provisto de un caballete, quede volado una cierta cantidad, y entonces se introducen en los manguitos los pies *B* hasta que penetren en el terreno del fondo. Merced á este apoyo puede continuar avanzando el tramo, colocándose en la posición marcada por las líneas de puntos, y entonces se introducen los segundos pies de caballete. Si fuese necesario avanzar más el tramo se repetiría la operación, retirando los pies *B* y sirviendo de apoyo los *C*.

La disposición es sin duda ingeniosa, pero creemos que el eje *d* en

sus extremos y los manguitos articulados de los pies son débiles, y esta misma fué la opinión de nuestro regimiento de Pontoneros en el informe que de este material dió á la superioridad á principios del año 1890.

Como material auxiliar, opinamos que podrá prestar grandes servicios. Un caballete Pfund con dos viguetas, sobre las cuales pueden colocarse unas tablas que formen piso, podrá servir como de andamio provisional para avanzar sobre el último tramo construído, y colocar con toda comodidad el caballete definito, ó proceder á la hinca de los pilotes si se opta por esta solución. Este pequeño material no había de presentar dificultades para su transporte.

Nos dijeron los ingenieros del Creusot que habían estudiado la reforma del caballete Pfund, dando mayor resistencia á los manguitos y á los extremos de la cumbrera en que aquellos se articulan.

DINAMARCA.

PRELIMINARES.

75. Antes de abandonar la capital de Francia tuvimos noticia del aplazamiento de las experiencias del Grusonwerk, que debían haber empezado el día 8 de Septiembre, hasta el 22 del mismo mes. Este aplazamiento desbarató nuestros planes primitivos. Objeto del viaje.

Sabíamos las grandes dificultades que habían de oponerse al desempeño de nuestra comisión en Alemania, y contábamos, para vencerlas más rápidamente y en lo posible, con las amistades particulares que pudiéramos crearnos entre los oficiales de este país que habían de asistir á las experiencias. En esta idea y pensando en el mejor medio de utilizar el tiempo, resolvimos nuestro viaje á Dinamarca. A él nos movieron las noticias que teníamos y que vimos luego comprobadas, de que el Cuerpo de Ingenieros danés figuraba á la cabeza de los de Europa en punto á adelantos en el material, en los servicios y en la instrucción. Además, comprendimos que nuestra permanencia en Alemania sería doblemente provechosa si ántes visitábamos un país donde no se exagera el secreto de los asuntos militares y que sigue paso á paso todos los adelantos para á su vez perfeccionarlos y acomodarlos á sus necesidades. No fué tampoco ageno este viaje al deseo de ver maniobrar el tren de puentes danés, el más moderno de los existentes.

Salimos de Paris el día 4 de Septiembre con dirección á Dinamarca. Al atravesar Alemania nos detuvimos en Colonia, Hamburgo y Kiel, en cuyos puntos pudimos convencernos de la absoluta imposibilidad de ver las obras de fortificación, aun ejerciendo un largo y astuto espionaje.

Centinelas apostados á no corta distancia de las obras impiden que alguien se acerque á un punto desde donde pueda siquiera apreciarse el aspecto exterior. Días ántes de nuestra llegada á Colonia fueron detenidos y aprisionados dos súbditos ingleses que se atrevieron á dirigir la palabra á uno de los centinelas.

A las doce y media de la noche del día 7 salimos de Kiel á bordo del vapor danés *Skirner*, llegando á las siete y media de la mañana del 8 á Korsör, donde tomamos el tren que en poco más de dos horas nos condujo á Copenhague.

Acogida en Copenhague.

76. Pasaremos por alto nuestras gestiones preliminares que el capitán Andersen, autor del tren de puentes danés, nos facilitó, y nuestras visitas al Ministro de la Guerra, al General Kaufmann, gobernador de la ciudadela en donde están establecidos los polígonos de Ingenieros, al General de Ingenieros Koefoed y al Coronel Müller, que manda el regimiento; pero creemos un deber de gratitud hacer constar en este escrito la cordialísima y fraternal acogida que se nos dispensó en Dinamarca y á la que todos contribuyeron, desde el Ministro de la Guerra, que vino á visitarnos personalmente á nuestro alojamiento, hasta el oficial más moderno. Todos rivalizaban en afecto y buen deseo, sin reservas ni recelo alguno y por primera vez desde nuestra salida de España creímos encontrarnos entre verdaderos camaradas. Sienten los ingenieros daneses por nuestro país la admiración que les despierta nuestra gloriosa historia y esa atracción de los pueblos tristes del Norte hácia las comarcas risueñas de Mediodía. Poseen una ilustración vasta y sólida, que unida á la harmonía con que todos trabajan y se ayudan produce los mejores resultados; á ello contribuye su corto número y el convencimiento de que, no pudiendo su pequeño país de dos millones de habitantes sostenerse contra una de las grandes potencias vecinas, su deber es el de morir juntos, llegado el caso de que la diplomacia no lo evitara, demostrando á su pátria que habían llegado hasta donde la voluntad y la inteligencia humana pueden alcanzar. Estos son los ingenieros daneses que nos recibieron con los brazos abiertos y de los que conservaremos siempre el más grato recuerdo.

Se nos designó al capitán Andersen por guía, y con su elección se nos dió una prueba más de deferencia, pues aún cuando en realidad

nuestros guías fueron la mayor parte de los jefes y oficiales, esforzándose todos, el mismo General Koefoed, el Coronel Müller, los Capitanes Tychsen y Falkenberg y otros muchos que sería oficioso citar, por adelantarse á nuestros deseos, al celo y actividad del Capitán Andersen debimos el conseguir en tan breve tiempo nuestro objeto. Al día siguiente de nuestra llegada pudimos asistir á las maniobras de desembarco ejecutadas por los pontoneros. El siguiente, día 10, fué dedicado al exámen de las fortificaciones; el 11, á visitar el cuartel del regimiento, el polígono, los parques y el material. Por la noche fuimos obsequiados con un banquete en el Casino militar. El día 12 por la mañana visitamos las obras del nuevo cuartel de artillería en construcción; por la tarde asistimos al banquete que los oficiales del cuerpo y los que á él habían pertenecido organizaron en honor del Cuerpo de Ingenieros español.

El día 13 presenciamos las maniobras de pontoneros y del material telegráfico y aerostático. El día 14 á las nueve de la mañana salimos de Copenhague, separándonos en la estación de nuestros buenos amigos daneses, que con sus familias acudieron á despedirnos, y de los que guardaremos por nuestra pátria y por nosotros la mayor gratitud. Séanos permitido, una vez más, expresar nuestro reconocimiento á aquellos laboriosos oficiales, que ejercieron con nosotros la hospitalidad á un punto total, que no tuvimos un momento de reposo, siendo objeto de contínuas manifestaciones de amistad hácia nuestras personas y de simpatía por nuestra pátria. Dediquemos también un recuerdo á nuestro cónsul en Copenhague D. Jorge Madrilley, que con el mayor entusiasmo unió sus esfuerzos á los nuestros para corresponder á las atenciones de que se nos colmaba.

Organización del regimiento de Ingenieros.

77. Del año 1842 data solamente la verdadera existencia del Cuerpo de Ingenieros danés. En aquel año se crearon dos compañías, estando el servicio de los puentes militares á cargo de la Artillería; este servicio pasó al Cuerpo de Ingenieros en 1852, y volvió al de Artillería en 1854 y definitivamente al de Ingenieros en 1863. En 1867 se formaron dos batallones, uno activo y otro de reserva, compuestos cada uno de cuatro compañías. En 1870 se creó una sección para el servicio de minas submarinas, que pasó á la Marina en 1880.

En este mismo año, los dos batallones fueron reunidos en un regimiento, compuesto de cinco compañías de línea y tres de reserva.

En tiempo de paz las compañías de línea son: dos de zapadores-minadores, una de telegrafistas, una de pontoneros y una de ferroviarios. En tiempo de guerra las compañías de línea, reforzadas con el personal de las de reserva, forman once compañías de campaña y una de depósito. Las once compañías son: cuatro de zapadores-minadores, una de pontoneros, dos de telegrafistas de primera línea—servicio de marcha,—una de telegrafistas de segunda línea—servicio de etapas,—dos compañías de ferroviarios y una de parque. Las compañías de pontoneros y ferroviarios prestan además el servicio de zapadores.

Cada soldado está provisto de un útil que lleva en un estuche de cuero.

Pasemos ya á dar cuenta de cuanto tuvimos ocasión de ver, empezando por la descripción del material de puentes.

Maniobras de pontoneros.

Descripción del material y su empleo.

78. El tren de puentes de este país, reglamentario en él desde 1886, es el más moderno é indudablemente el más ligero y resistente.

La unidad afecta á la compañía se compone de 24 carros con tiro de cuatro caballos, arrastrando 85 metros de puente normal.

De los 24 carros, 10 son de pontón, 4 de tablones, 6 de caballetes, 2 de reserva y 2 de útiles. El mismo carro puede indiferentemente recibir cualquiera de las cargas.

79. El carro pesa 630 kilógramos descargado, y 1598, 1597 y 1596 respectivamente, con las cargas de pontón, tablones y caballetes.

80. El caballete, modelo sueco, es del sistema Birago, notablemente modificado. La cumbrera tiene sus cabezas de acero galvanizado (fig. 3, lám. 15) lo que disminuye notablemente su peso. El sistema de suspensión es sencillísimo, evitándose las argollas y pasadores, permitiendo acercar el punto de suspensión todo lo posible al pie con gran ventaja para su resistencia. La inclinación de los pies es de 72°, con lo cual se obtiene la suficiente estabilidad transversal y mucha más resistencia por disminuir el trabajo de flexión.

Los pies son de tres longitudes: $2^m,5$, $3^m,75$ y 5 metros, aunque de estos últimos sólo hay dos que van en los carros de reserva.

Las zapatas son de fundición maleable, presentando muy poca resistencia á la corriente, lo que facilita mucho el establecimiento de los caballetes. La cadena es de 2 metros de longitud y sus anillos de 13 milímetros de diámetro.

Cada caballete se amarra al contiguo por cadenas que van desde las cabezas de la cumbrera del uno á las zapatas del otro.

81. Para dar al caballete en los casos necesarios la estabilidad propia de que carece, se adicionan en cada cabeza otros dos pies suplementarios, como indican las figuras 14 y 15 (lám. 15), disposición que según tenemos entendido no ha dado el mejor resultado.

82. Algunos tablones del tren están dispuestos para improvisar una cumbrera, que se forma con dos de ellos unidos por 8 toletes y unos herrajes especiales de poco peso, dejando entre sí el espacio necesario para el paso de los pies. Al caballete con ella formado se le llama de reserva.

83. Los caballetes se establecen sin necesidad de compuerta de maniobra con un solo pontón (fig. 13, lám. 15) sirviendo el peso de 10 hombres, y el de una vigueta trincada en la banda exterior, de contrapeso para zafarlo, consiguiéndose así una rapidez en la construcción de estos tramos igual á la de los pontones.

84. El apoyo flotante (láminas 16 á 19 inclusive) es el pontón alemán perfeccionado. Es de acero galvanizado, de perfil curvo y simétrico. Dos tabiques lo dividen en tres compartimientos para localizar los efectos de las vías de agua, calculados de modo que anegándose los extremos queda al flotante una fuerza de flotación de 3055 kilógramos, y anegándose sólo el cuerpo conserva la de 2150 kilógramos, y como el tablero de un tramo pesa próximamente 700 kilógramos, resulta que en estos dos casos podría el pontón soportar el tablero cargado de cierto número de obreros. Anegándose un compartimiento extremo y el del cuerpo, el pontón se vá á fondo.

En las figuras se representan todos los detalles de construcción de este flotante, cuyas principales dimensiones son:

Longitud total.	7,85 metros.
Anchura en las bordas.	1,55 »
Anchura mayor.	1,61 »
Altura de bandas.	0,81 »
Escuadría de las curvas del cuerpo.	20 × 30 × 4 mm.
Escuadrías de las dos primeras y dos últimas curvas.	30 × 30 × 5 »
Borde de los tabiques.	20 × 30 × 7 »
Espaciamiento de las curvas.	0,419 metros.
Idem de los tabiques.	3,77 »
Número de curvas.	16
Espesor del pontón en el fondo del cuerpo. .	1,44 mm.
Espesor del pontón en las bandas.	1,13 »
Idem del ídem en el fondo de proa y popa. .	1,88 »
Idem del ídem en las bandas.	1,39 »
Idem de los tabiques.	1,13 »
Escuadría de las bordas de madera.	145 × 40 mm.
Peso total.	485 kilógramos.
Fuerza de flotación.	7,400 »

Para recorrer en aguas tranquilas un kilómetro con dos remeros y un timonel se invierten 18,6 minutos; con tres remeros y un timonel 17 minutos y con cuatro remeros 16 minutos.

Se transporta completamente equipado y en su posición natural. La carga en el carro se efectúa con la mayor prontitud y sencillez, sirviendo de plano inclinado dos viguetas, con 12 hombres.

85. En el equipo del pontón, además de los aparejos de navegación y del achicador de madera, figura una pequeña bomba para achicar y una garra móvil muy sencilla, pero de gran fuerza (figuras 2 y 5, lám. 15).

86. Las viguetas de pavimento están todas provistas de garras de acero del tipo sueco (fig. 4, lám. 15).

Su escuadría es de 15,7 × 10,5 centímetros, y la longitud de $5^m,73$ las de tramo de caballetes y $6^m,35$ las de pontones.

Se apoyan directamente sobre las bordas, y no obstante, las garras se trincan á unas espigas de que está provisto el canto inferior de aquellas (fig. 4, lám. 17).

87. La longitud del tramo de caballetes es de $5^m,50$, y la de los de pontones $6^m,12$ y $4^m,70$ en el puente normal y reforzado respectivamente. Los tramos pueden acortarse más empleando la garra móvil (fig. 5, lámina 15) de uso rápido y eficaz. En cada pontón hay dos garras.

88. El tablón es de $3^m,28$ de largo para una anchura de vía de $2^m,80$; está formado por dos medios tablones para evitar alabeos.

89. El material está sin pintar para poder conocer su verdadero estado.

90. El carro se compone de un juego trasero formado por dos brancales horizontales (figuras 6, 7 y 8, lám. 15) unidos por cinco traviesas, y de un juego delantero, ambos con muelles. Se ensayaron en las ruedas los rayos metálicos, pero no dieron resultado por no ser las pinas deformables.

El carro de pontón lleva cinco viguetas, sobre las cuales reposa el pontón equipado.

El de caballetes transporta todo el material de un tramo completo de caballetes.

El de tablones, el tablonaje de tres tramos de pontón.

El de reserva contiene el material de tablero de un tramo, objetos de reserva y un bote para reconocimientos, hecho de lona y pudiendo plegarse. La longitud de este bote, modelo inglés, es de $3^m,10$.

El carro de útiles los lleva en cuatro cajas diferentes, transportando además no pocos objetos de respeto.

91. Los objetos principales de la unidad son los siguientes:

10 pontones.
2 botes.
6 caballetes.
4 caballetes de reserva.
90 viguetas.
350 tablones.
28 viguetas de trincar, etc.

92. Forma también parte del material un martinete de campaña (figuras 1, 2 y 3, lám. 20) que presta muy útiles servicios. Este martinete se compone de un montante y una maza. El montante está provisto en su parte inferior de una asa fija y otra de tornillo que puede abrirse,

por las cuales se sujeta el martinete á la cabeza del pilote. La parte superior del montante lleva una polea para la cuerda, y la posterior está reforzada por un nervio director del martillo. Este, cuyo peso es de 75 kilógramos, abraza los bordes del montante, en un lado por medio de dos ganchos fijos, y en el otro por uno que puede abrirse para dejar en libertad el martillo.

El martinete es manejado por cuatro hombres, y puede hincar pilotes hasta de $0^m,200 \times 0^m,200$ de escuadría. (Véase figuras 1, 2 y 3, lámina 20).

93. Con el material de la unidad se pueden construir:

85 metros de puente normal, $2^m,8$ de anchura; soporta 400 kilógramos por metro cuadrado.

99 metros de puente ligero, $2^m,8$ de anchura; soporta 290 kilógramos por metro cuadrado.

124 metros de puente estrecho, $2^m,7$ de anchura; soporta 400 kilógramos por metro cuadrado.

127 metros de puente más estrecho, $1^m,35$ de anchura; soporta 400 kilógramos por metro cuadrado.

94. En cuanto á la construcción de los puentes apuntaremos únicamente lo siguiente:

El estribo está formado por un pie de caballete ó una vigueta que se sujeta con piquetes.

El tablero, como queda indicado, descansa directamente sobre los pontones, engarrando las viguetas en las bordas. En el puente normal cada vigueta se apoya sobre las cuatro bordas de dos pontones consecutivos, y en el ligero solamente sobre tres. Para pasar desde un estribo ó una cumbrera muy baja á un ponton, ó bien cuando el nivel del agua es variable, se emplea un tramo especial de transición. En éste se engarran todas las garras de las viguetas en la borda interior, se introduce en un orificio de la vigueta un tolete cuya espiga pasa también por las asas de las viguetas del tramo siguiente, y se forma de este modo una especie de charnela (fig. 12, lám. 15).

Las compuertas de embarque, como en el tren alemán, son de dos, tres y cinco flotantes (figuras 9, 10 y 11, lám. 15).

Las maniobras para la construcción de los puentes son mandadas

por un oficial, que tiene á sus órdenes 4 sub-oficiales, 5 cabos y 48 pontoneros.

Están distribuidos en cinco destacamentos, como indica el cuadro siguiente:

NÚMERO de los destacamentos.	Sub-oficiales.	Cabos.	Pontoneros.	EMPLEO DE LOS DESTACAMENTOS.
1.°	1	»	4	Construír el primer estribo y establecer el cuarto y octavo pontón de agua-arriba.
2.°	1	2	12	El sub-oficial y la primera y segunda hileras conducen el primero, quinto y noveno pontón de agua-abajo.
3.°	1	»	10	Transportan las viguetas de todos los tramos, desatracan con ellas los flotantes y transportan las viguetas de trinca de los dos últimos tramos, ejecutando también la trincadura de ellos.
4.°	1	2	18	Transportan los tablones uno á uno, colocando en el puente cada uno el suyo.
5.°	»	1	1	Transportan las viguetas de trinca y ejecutan la trincadura de los tramos á excepción de los dos últimos. Mientras el 3.er destacamento trinca éstos, este 5.° destacamento coloca el guardalados.
TOTAL...	4	5	48	

Pasemos ahora á exponer las maniobras que presenciamos.

94. A las ocho y media de la mañana del día 9 de Septiembre, acompañados del Capitán Andersen, tomamos el tren, que nos condujo á Klampenborg, y en este punto un carruaje, de forma muy original, que nos dejó en Skordborg, en cuyas inmediaciones á la orilla del mar (*) maniobraba aquel día la compañía de pontoneros mandada por el Capi- Puentes de desembarco.

(*) Estrecho del Gran Sund.

tán Falkenberg, inteligente y práctico oficial, que no perdonó medio para ponernos al corriente de todo lo relativo á este material.

Apenas llegamos se empezó la construcción de un puente destinado á servir de muelle para el embarco y desembarco. A este empleo destinan los daneses su tren de puentes, puesto que no tienen en su territorio ríos que salvar, pero sí gran desarrollo de costas, en las cuales tiene este material una ventajosa aplicación.

Para este objeto poseen unos remolcadores de vapor (fig. 7, lám. 20), capaces para transportar el material de una unidad con sus carruajes, y cuya popa, cortada por un plano vertical, está provista de una rampa por donde se desembarca el material destinado á la construcción del muelle, que empieza en la popa de este gran flotante y termina en la orilla. Construído el muelle, el remolcador se retira para dejar paso á las embarcaciones que han de desembarcar tropas ó material. En un remolcador de esta clase arribó el Capitán Falkenberg con su compañía completa, á excepción del ganado, minutos ántes de nuestra llegada.

Por considerar más penosa y difícil la construcción del puente de caballetes se transportaron en el remolcador caballetes suficientes para el establecimiento sobre ellos de los dieciocho tramos de la unidad.

Las descripciones anteriores nos dispensan de entrar en minuciosos detalles y sólo enumeraremos los que más nos llamaron la atención.

La substitución de la compuerta de maniobra para el establecimiento del caballete por un solo pontón lastrado en la banda exterior, acelera considerablemente la operación, que es ejecutada por 10 hombres (6 menos que los empleados en el material Birago). El peso de ellos, según se coloquen en una ú otra banda, basta para zafar el flotante y elevar el caballete, sin que el tablero deje por ello de presentarse sensiblemente horizontal y uniforme.

El transporte de los tablones uno á uno para cubrir el pavimento, colocando cada soldado el suyo, contribuye por mucho á la rapidez, Cierto que este procedimiento no puede emplearse con un tablonaje susceptible de alabeo, pero sí con el danés, en que cada tablón está formado por dos medios tablones unidos por espigas.

El trincado del tablero se ejecuta asimismo con gran celeridad, va-

DINAMARCA.—CONSTRUCCIÓN DE UN PUENTE CON EL MATERIAL REGLAMENTARIO.

liéndose de viguetas especiales y de sencillas trincaduras de garrote. Esta operación, á pesar de ejecutarse por dos hombres solamente, no sufre el menor retraso. Con nuestro material son necesarios á lo menos ocho hombres para esta misma faena, que se ejecuta con gran lentitud.

El caballete se arma prontamente y sin entorpecimientos. La unión de las cabezas al cuerpo de la cumbrera no es tan sólida como fuera de desear, no obstante los refuerzos que últimamente han introducido, representados en la figura 20; 30 minutos invirtió el establecimiento de

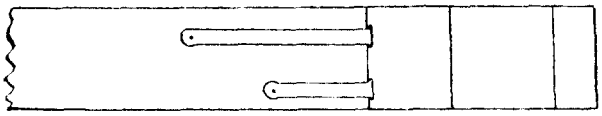


Fig. 20.

los 18 tramos y 20 el repliegue, que se ejecutó con el mayor orden, aparcándose el material en el interior del remolcador y quedando todo en disposición de volver á ejecutar la operación en otro punto cualquiera de la costa.

Durante la construcción del puente, para proteger éste de las abordadas bruscas de las embarcaciones que hubieren de atracar en él, se clavan ocho grandes pilotes, cuatro á cada lado del puente, faena que se ejecutó con extraordinaria facilidad y prontitud valiéndose del martinete descrito anteriormente.

La tropa vestía ropa de paño, con gorra, sin el equipo y armamento, con botas altas impermeables.

Examinamos detenidamente el material, construido con excelente pino, así como el flotante, cuyas condiciones de resistencia, estabilidad y resistencia á la corriente experimentamos, y á la caida de la tarde regresamos á Copenhague por mar, en compañía del general Koefoed, el coronel Müller y varios oficiales que se nos habían incorporado en Skordborg.

Puentes normales y compuertas de embarque.

95. En la mañana del día 13, á fin de que pudiéramos formar más exacto juicio del tren de puentes dinamarqués, el capitán Falkenberg, con su inagotable amabilidad, organizó las maniobras de carga y descarga y construcción de puentes y compuertas con arreglo al reglamento y en las mismas condiciones que en campaña.

En uno de los anchos fosos de agua de la ciudadela habían de ejecutarse las maniobras. En una de sus orillas nos esperaba formada la compañía de Pontoneros, en traje de faena, y á retaguardia el material, cargado en los carros.

Salió á recibirnos el coronel Müller y acto seguido empezó el trabajo. A nuestro ruego se ejecutó primeramente la descarga y carga de un carro de pontón. No obstante ser éste entero, se hicieron ambas operaciones en menos de cuatro minutos, con gran facilidad, por medio de las dos viguetas que sirven de plano inclinado sobre las cuales se coloca el pontón para cargarlo en la misma posición que sobre ellas ha de tener en el carro. Se elevan estas viguetas valiéndose de remos y merced á unas roldanas alojadas provisionalmente en las garras anteriores, basta empujar dichas viguetas para trasladar el pontón á su sitio. La operación se ejecuta sin necesidad de hacer grandes esfuerzos.

Inmediatamente después, y del modo que dejamos descrito en el capítulo anterior, se procedió á la construcción de un puente de 17 tramos, 4 de caballetes (2 de entrada y 2 de salida) y los restantes de pontones con dos compuertas en la parte central del puente. El último tramo de pontón se hizo más corto para que viéramos el empleo de la garra móvil. Este no puede ser más rápido ni más satisfactorio. Su sujeción á la vigueta es completa, sin más que adosarle á la cara inferior y hacer girar una palanquilla.

Las viguetas no sólo están engarradas en las bordas sino que también se trincan á ellas, operación que podría evitarse en los puntos donde no hay gran oleaje, pero es tan sencilla que no se pierde tiempo alguno en su ejecución.

La estabilidad del pontón á pesar de su perfil curvo es grandísima, merced á su completa sujeción al tablero.

La tranquilidad de las aguas facilitaba el establecimiento de los pontones como cuerpos de apoyo, pero en cambio el suelo fangoso del fondo dificultaba el de los caballetes, cuyos pies se hundían demasiado. El puente quedó construido en 28 minutos, y á continuación fué sometido á una prueba verdaderamente extraordinaria que evidencia que este material, mucho más ligero que el nuestro, posee una resistencia muy superior. Se unió al personal de la compañía el restante del regimiento y

formando de á cuatro, con filas apretadas, penetraron en el puente al paso ligero y llevando el paso, se mantuvieron un minuto en el centro del puente marcando á compás el paso ligero, dieron media vuelta y desfilaron en la misma forma. Todo ejecutado á la voz y con la mayor uniformidad. No se observó en los pontones más que el movimiento natural de sumersión, relativamente pequeño, y sin que el nivel de agua llegara á 30 centímetros de las bordas. En los caballetes sólo se notó una ligera flexión en las cumbreras.

Manifestamos deseo de ver construir una compuerta de embarque é inmediatamente fuimos complacidos. Una de cinco flotantes quedó construida en menos de 15 minutos, quedándonos persuadidos de la perfecta unión y rigidez entre los pontones de una misma banda entre sí y con los de la opuesta.

También se armó á nuestra presencia la cumbrera de reserva que ya describimos.

Comparaciones entre el tren danés y el Birago.

96. Aun cuando los estudios teóricos verificados por una comisión del Cuerpo en el año anterior nos dispensan de entrar en más detalles sobre este asunto, nos creemos, no obstante, obligados á llamar la atención de la superioridad, estableciendo algunos datos comparativos entre el trén danés y el Birago, todavía en empleo en nuestro país, aunque notablemente modificado.

El pontón español, compuesto de proa y popa, pesa 888 kilógramos, 462 la proa y 426 el cuerpo, con una fuerza de flotación de 3850 kilógramos la primera y 3970 kilógramos el segundo, y por consiguiente una fuerza total para el flotante de 7820 kilógramos.

El pontón entero dinamarqués pesa 485 kilógramos y tiene 7400 kilógramos de fuerza de flotación, es decir, que pesando poco más que nuestra proa tiene casi doble fuerza de flotación.

No es esto sólo. Teniendo en cuenta los volúmenes, se observa que para el puente normal (carga de 290 kilógramos por metro cuadrado) el flotante español no está mal calculado, puesto que le queda un exceso de fuerza de flotación de 1120 kilógramos, que es próximamente lo que la seguridad aconseja.

Pero este flotante se sumergiría por completo bajo las grandes cargas (400 kilógramos por metro cuadrado) cuando precisa el estableci-

miento del puente reforzado. En este caso el flotante se organiza con una proa y dos cuerpos, resultando un exceso de 2880 kilógramos, es decir, una tonelada más de lo necesario, que se traduce en un mayor peso que transportar, al paso que el material danés, tanto en el puente normal como en el reforzado, el exceso de fuerza de flotación del pontón único es de 1600 kilógramos en el primero y 1500 en el segundo, que es próximamente lo prescrito por la teoría.

Si del apoyo flotante pasamos al fijo, encontramos que el perfeccionamiento de las cabezas de la cumbrera no sólo facilita su empleo sino que disminuye su peso. La nuestra pesa más de 116 kilógramos y la danesa 87,5. Respecto á los pies, en ciertos casos el empleo de los del material Birago es peligrosísimo por exceder el trabajo del límite de fractura para las grandes cargas, al paso que los del material danés sólo trabajan en el mismo caso á 75 kilógramos por centímetro cuadrado. Ventajosas condiciones debidas á la menor inclinación de los pies y á la reducción de distancias entre éstos y el punto de apoyo de suspensión de la madera.

Las garras metálicas de las viguetas y la construcción especial del tablonaje aumentan considerablemente su duración.

Respecto al carruaje recordaremos que el tren danés no tiene más que un solo tipo para el material y herramientas, circunstancia ventajosísima que no ensalzaremos bastante y que puede apreciarse teniendo en cuenta los peligrosísimos retrasos que la complicación puede originar, sobre todo cuando se opera de noche y en riberas poco accesibles al paso de los carros.

La carga en el tren danés es tan sencilla que permite transportar el material desde el carruaje al puente directamente y vice-versa, cuando en el Birago es ántes indispensable aparcar el material descargado en la orilla; siendo la carga tan laboriosa y precisa que el simple alabeo de un tablón constituye un entorpecimiento.

En las experiencias comparativas que se ejecutaron en Dinamarca ántes de adoptar este material, y de las que no damos cuenta por no alargar más este escrito, la carga y descarga se ejecutó en el tiempo siguiente:

		Tiempo empleado. — *Minutos.*	Hombres.
Carro de pontón..	carga..	2,75	12
	descarga..	1, 5	
Id. de tablones..	carga..	4, 5	4
	descarga..	1,75	
Id. de caballetes..	carga..	5,25	
	descarga..	2,00	

La carga de toda la unidad puede hacerse con 80 hombres en 6 ó 7 minutos y la descarga en 3 ó 4. Es decir, que las dos operaciones con 80 hombres absorben de 9 á 11 minutos, al paso que con nuestro material 128 hombres invierten de 25 á 30 minutos.

Por otra parte, recordemos que el carro danés, por término medio, pesa descargado 630 kilógramos y 90 kilógramos más con los muelles; es decir, 720 kilógramos y cargado 1600 kilógramos, mientras el nuestro pesa 878 kilógramos descargado y 2500 kilógramos próximamente con su carga. Esto permite al primero ser arrastrado por cuatro caballos, siendo necesarias seis mulas para el segundo.

La proporción entre el número de apoyos y el de tramos es uno de los defectos capitales del tren Birago y para evitarlo nuestros pontoneros han propuesto una distribución más juiciosa del material.

Apuntaremos solamente que en el tren Birago se transporta, con gran perjuicio para la sencillez y ligereza del material, un número de cuerpos de apoyo doble que el de tramos de tablero, por llevar igual número de apoyos flotantes que de caballetes, exageración á que fué arrastrado Birago por su pasión de inventor, pues siendo el caballete el elemento verdadero de su originalidad, quiso darle un empleo más general que el militarmente admisible. En el tren danés sucede lo contrario: para 18 tramos de tablero se transportan 10 pontones y 6 caballetes, con lo cual sobra un tramo de tablero. Esto tiene su explicación por ser en Dinamarca las orillas del mar generalmente pantanosas.

Para concluir, ya que la índole de este trabajo nos obliga á ser lacónicos, anotaremos que el peso arrastrado en nuestro país por cada metro cuadrado de tablero es de 238 kilógramos, siendo en Dinamarca de 137

kilógramos, lo que prueba de qué manera está en uno y otro tren resuelto el problema de la movilidad. Diremos además, que el peso total del tren español es aproximadamente el mismo que el del danés (38.000 kilógramos), transportándose en éste 32 metros más de puente que en aquél; que para el arrastre son empleadas 92 mulas, mientras que en el danés á pesar del mayor número de tramos (10 más) se necesitan 96 y no es esto porque nuestro ganado trabaje ménos, pues sucede precisamente lo contrario. La fuerza de tracción que exige nuestro tren es 3,6 veces mayor que la del danés.

No pretendemos con lo expuesto afirmar que en nuestro país deba adoptarse el material danés. Cada país tiene su topografía especial y sus necesidades y á ellas deben supeditarse todos los asuntos militares. El nuestro ménos que ninguno puede dejarse arrastrar por la imitación; pero con lo dicho hemos querido hacer presente que si el material Birago fué aceptado con entusiasmo hace cincuenta años, fué porque indudablemente marcó un notable progreso en comparación del pesado material hasta entonces empleado, pero que con posterioridad, los trenes de puentes han experimentado importantes perfeccionamientos y que el material Birago, ántes el mejor, no lo es ya, siendo ahora posible hacer un material mucho más ligero y de mayor resistencia.

CUARTEL Y POLÍGONOS.

Cuartel del regimiento.

97. El día 11 y parte del 12, visitamos el cuartel de Ingenieros, los polígonos, parques y almacenes.

Destruido por un incendio el antiguo cuartel de Ingenieros, en la actualidad está provisionalmente alojado el regimiento en la ciudadela en seis grandes barracones de madera, sin contar los destinados á almacenes y parques. Cada compañía ocupa el suyo y otro es destinado á oficinas. Estos barracones están organizados para que la tropa pueda soportar las temperaturas más bajas. La calefacción se hace por estufas. La cama del soldado es parecida, aunque muy superior, por exigencias del clima, á la del nuestro. Cada soldado tiene su mochilero y cajón con cerradura para guardar sus ropas y efectos menudos. Los dormitorios están divididos

por tabiques de madera formando habitaciones separadas para cada sección.

98. Inmediatos al cuartel están los polígonos, que recorrimos sin encontrar nada que merezca especial mención. Las obras de tierra que vimos, consistían en baterías, trincheras abrigos, obras de campamento y puentes de circunstancias, de organización sobradamente conocida. Polígonos.

MATERIAL.

99. Los almacenes, instalados en grandes barracas de dos pisos, contienen el material que para su instrucción posee el regimiento y una colección de modelos muy completa. Descrito queda el material de pontoneros, á excepción de unos botes de reconocimiento recientemente ensayados, construidos de lona fuerte embreada con armazón de madera; son de forma de lanzadera y dispuestos para sumergirse casi por completo, no teniendo más que la abertura indispensable para sacar la cabeza y los brazos el que los emplea. Almacenes.

100. En el material telegráfico danés de campaña cada carro constituye una unidad independiente, que contiene todo el material necesario para una línea de cierta longitud. El servicio de la telegrafía de campaña está basado en el empleo del hilo desnudo, no aplicándose el revestido mas que en casos excepcionales. Material de telegrafía eléctrica.

101. El carro de material telegráfico (fig. 3, lám. 21) es arrastrado por cuatro caballos y dispuesto de modo que pueda transportar postes, aisladores, y de alambre una milla danesa (7 $^1/_2$ kilómetros próximamente); además, cierta cantidad de hilo revestido, el material y una tienda para estación, con los útiles y aparatos necesarios. A los lados del carro hay abrazaderas para las carabinas.

El carro cargado pesa 1800 kilógramos.

102. El poste telegráfico es de pino elegido, de unos $3^m,6$ de longitud por 42 milímetros de espesor, y pesa 3 kilógramos. En su parte inferior está provisto de un azuche y en la superior de una guarnición para recibir el aislador.

Si la altura del poste no es suficiente se le añade otro auxiliar de

$1^m,33$ de longitud, provisto en su extremo inferior de una espiga con tornillo para sujetarlo y en el superior de la guarnición para el aislador. La ensambladura se refuerza con un collar de construcción especial.

Sirviéndose de un poste alargado con el auxiliar, el hilo queda en el sitio menos elevado á $4^m,4$ del suelo.

El aislador es de ebonita y tiene una ranura á cuyo alrededor pasa el hilo. Por desgastar este sistema rápidamente el alambre, se han hecho numerosos ensayos con otros aisladores, sobre todo de presión automática, sin satisfactorio resultado. La modificación más aceptable ha sido la de rodear la ranura del aislador con un grueso hilo de latón terminado por dos ganchos, en los cuales se coloca el hilo.

Para establecer los aisladores en los postes permanentes, árboles ó edificios se emplean grapas especiales.

103. Hilo desnudo.—El alambre inglés, galvanizado *B. W. G.* número 16 (16 milímetros de diámetro próximamente) es el reglamentario, pero se trata de reemplazarle, á cuyo efecto se han hecho numerosos ensayos con varias clases de alambre de hierro, acero, cobre y bronce, entre otros con un cordón de cuatro hilos de acero sueco de 1,5 milímetros de diámetro, que parece ser el mejor.

104. Hilo revestido, de campaña.—El hilo Hoopez es el reglamentario, pero á causa de su diámetro y su peso no se le puede transportar en cantidad suficiente. De las experiencias practicadas resultan preferibles los nuevos de Siemens hermanos, de Berlin, por ser más ligeros.

105. El cable para estaciones volantes no es reglamentario, aunque se poseen pequeñas cantidades para ensayos, con las que se han establecido líneas telefónicas y telegráficas pasajeras.

106. El aparato telegráfico es un aparato Morse portátil. La mayor parte de los aparatos son de Mrs. Siemens y Halske, de Berlin, los más modernos, en los cuales se han hecho algunas modificaciones propuestas por las compañías: están construidos por Mr. L. Lund, de Copenhague.

107. La pila portátil se compone, según el reglamento, de 15 elementos Leclanché. Actualmente se ensayan con grandes probabilidades de éxito pilas con elementos secos de Hellesen.

108. Carretillas para el tendido y repliegue de línea.—La del coronel

Hoskiar (figuras 1 y 2, lámina 22) es en su mayor parte de acero y sólo pesa 30 kilógramos.

Se compone de un marco *a a* montado sobre el eje *F F* por medio de dos apoyos verticales *B B* y de cuatro tirantes *C D*, *E D*. Una bobina que contiene próximamente 2 kilómetros de alambre desnudo ó medio de revestido está colocada sobre los cojinetes *G G*, y su marcha es regularizada por el freno *T T*; otra bobina de reserva puede transportarse en los ganchos *H H*.

Para desarrollar el hilo no hay más que arrastrar la carretilla valiéndose de la lanza y de una rienda enganchada en *R*. La manivela está sujeta para el transporte en los ganchos *S*.

Para enrollar el hilo se aplica la manivela en el eje de la rueda dentada *K* y se engrana la rueda *L* con el tornillo sin fin *N* ó *N'*, según se maneje hilo desnudo ó revestido; se introduce el hilo en la guía *O*, y se da vueltas á la manivela á medida que se hace caminar la carretilla; el piñón *M*, solidario con *L*, engrana en la barra dentada *P P* y la hace marchar regular y alternativamente de derecha á izquierda de modo que la guía *O* vaya conduciendo el hilo, que se enrolla por capas regulares.

Si por un accidente, el sistema se hubiere desarreglado por la rotura de un diente, bastaría aplicar la manivela al eje de la rueda dentada *K'* para que la operación pudiera continuar, aunque con menos velocidad.

La carretilla desmontada se puede cargar sobre el carro del material telegráfico, donde ocupa muy poco espacio. Pueden desmontarla tres hombres en menos de un minuto del modo siguiente: quitando la manivela y colocándola en los ganchos *S S*, desatornillando el marco con sus tirantes y apoyos que se pliegan, y quitando las ruedas.

109. La nueva carretilla del capitán Rambusch (figuras 1 y 2, lámina 23), se distingue de la descrita por el diferente movimiento de la guía y la omisión de la bobina de reserva, lo que ha permitido reducir las dimensiones y el peso de la carretilla.

Para enrollar el hilo se aplica la manivela al eje de la rueda dentada *K*, que engrana á un costado con el piñón *K'* sobre el eje de la bobina y al otro con la rueda *M* fija sobre el tornillo *P P*, cuya tuerca contiene la guía *O*.

El empleo de estas carretillas es en Dinamarca imprescindible por abundar en ella los caminos plantados de árboles de tronco tan corto que la línea no puede construirse desarrollando el hilo directamente desde el carro.

110. La barra, que sirve para practicar en el suelo los agujeros para los postes, es de acero y de punta cónica. Con este instrumento se ejecuta la operación rápidamente, aun en los terrenos más duros. A medio metro de la punta hay una señal para designar la profundidad que debe tener el agujero.

111. La estación se establece de ordinario en un edificio cualquiera; durante las maniobras se emplea más frecuentemente la tienda-estación, pero cuando hay precisión de establecer rápidamente la estación en cualquier sitio, se utiliza el carro-estación. Este (fig. 4, lám. 21), arrastrado por dos caballos, está equipado como una estación telegráfica y pesa con su material unos 960 kilógramos.

112. Los teléfonos de campaña no son todavía reglamentarios. No obstante se han hecho numerosos ensayos con diversos aparatos, de los cuales citaremos los siguientes:

113. El micrófono de la fábrica Uster (Zurich), con placa de madera, y teléfono Bell: en un principio prestó buen servicio, pero posteriormente perdió su exactitud. Además su transporte es algo dificil.

114. El teléfono de Brauville, construido por el fabricante Neergaad, de Copenhague, y compuesto de un teléfono expedidor de Arsonval y de dos receptores Teilloux. Al principio no era muy seguro, pero después de algunas modificaciones propuestas por las compañías, su resultado es satisfactorio.

115. El teléfono de campaña, propuesto por el capitán Rambusch, construido por el fabricante Borgeu, de Copenhague, se compone de dos teléfonos Aubry y de un avisador Abdank. Ha dado buen resultado.

116. El *parleur* del capitán Cardeu: combinado según propuesta de la compañía con una pila de dos elementos Hellesen y dos teléfonos, uno Aubry para expedir y otro de Tailloux para recibir.

117. La caja de combinación del capitán Cardeu, compuesta de su *parleur* combinado con el micrófono Moseley y el teléfono Ader, con una pila de dos elementos Hellesen.

118. Respecto á este material daremos únicamente los datos siguientes: Material de telegrafía óptica.

Carro ligero destinado á transportar el personal y el material de una estación completa (estación intermedia) para el servicio de día y de noche. Es arrastrado por dos caballos y su peso, cargado sin los telegrafistas, es de 920 kilógramos próximamente (fig. 4, lám. 24).

El juego delantero y el trasero están cargados del mismo modo, conteniendo cada uno el material de una estación ménos completa (estación extrema). Cuando se quita el juego delantero, queda en disposición de seguir las patrullas como estación volante. En el extremo del carro se suspende el armamento de los telegrafistas.

119. La linterna de señales Spakousky, es el aparato reglamentario desde 1879 para la transmisión de noche, pero en vista de sus defectos, á pesar de los esfuerzos hechos para remediarlos, se han ensayado los aparatos siguiente:

120. Aparato del capitán Tychsen. Es del mismo sistema que el del francés Mangin, con importantes modificaciones (figuras 4, 5 y 6, lámina 20).

El sistema se compone de un foco luminoso cualquiera colocado en el foco de una lente biconvexa, calculada para transformar el haz cónico de luz que procede del foco en un haz cilíndrico, paralelo al eje óptico. Los rayos son lanzados á través de la lente por intérvalos, formando resplandores cortos ó largos, correspondientes á los signos del alfabeto Morse. Para este objeto, los rayos pueden ser interrumpidos por una pantalla móvil que cubre una abertura circular practicada en el tabique intermedio entre el foco luminoso y la lente, abertura que tiene su centro en el eje óptico de la lente. El manipulador está construido como el Morse; bajando el puño *a* se puede dar una luz contínua, lo que permite que dos estaciones correspondientes se busquen. En el ángulo superior derecho de la caja hay un anteojo receptor, por el que se pueden leer las señales á muy grandes distancias.

Una estación completa se compone de un aparato con su trípode y dos cajas conteniendo los objetos accesorios y de reserva.

El aparato está formado de una caja de acero galvanizado, excepto paredes anterior y posterior que son de latón ó zinc. La caja está dividi-

da en dos compartimientos, el de la lente y el de la lámpara. A la derecha de la caja hay portezuelas para comunicar con estos compartimientos. El compartimiento de la lente permite limpiarla con comodidad. El de la lámpara tiene una abertura para ella en el fondo y otra en la parte superior para la chimenea. Esta es móvil y puede quitarse cuando se emplea la luz solar ó penetrar en el interior cuando no funciona el aparato. Las paredes del compartimiento de la lámpara tienen ventiladores.

En la pared anterior de la caja se encuentran la lente y el objetivo del anteojo receptor. Una tapadera sujeta en charnela al borde superior sirve, cuando está cerrada, para conservar las lentes durante el transporte, y cuando está abierta y sostenida en la posición horizontal por una varilla, las protege del sol y de la lluvia; con este mismo objeto se pueden abrochar entre la cubierta y los bordes laterales dos abrigos de tela *n*.

Delante de la abertura circular del tabique intermedio está la plantilla dividida en dos semicírculos *c c*, con su manipulador, cuyo puño *a* está fuera de la caja al lado derecho. Este puño es móvil á fin de que durante el transporte pueda colocarse en *a*, sobre la parte interior de la portezuela del compartimiento de la lente.

En la parte superior de la pared posterior y á la derecha está colocado el ocular del anteojo receptor, sujeto con cuatro tornillos á un collar metálico formado por el extremo exterior de un tubo que rodea el anteojo en el compartimiento de la lámpara para protegerle del calor. En la parte inferior á la izquierda hay dos tornillos para los conductores de una corriente eléctrica y en medio un botón de muelle *i*, cuyo extremo *k* engrana con la ruedecilla que sirve para graduar la luz de una lámpara de petróleo. En el centro de la pared existe una cápsula cilíndrica cuyo eje coincide con el eje óptico de la lente de emisión, dispuesta para recibir un tapón de latón *ñ*, provisto interiormente de un reflector esférico y niquelado, con el centro de curvatura en el foco de la lente.

Cuando se emplea la luz solar este tapón es reemplazado por un ocular de Ramsden, con un espejo que dirige los rayos solares paralelamente al eje óptico del ocular y de la lente. Los rayos se concentran en el foco del ocular, que es también foco de la lente. Si la posición del sol no permite al espejo recoger sus rayos, se emplea un espejo auxiliar que se

coloca en los bordes superiores de la caja. La pared posterior está pintada con el color fosforescente de Balmain, para que las diferentes partes puedan distinguirse por la noche.

La tapa superior de la caja está provista de una abertura para la chimenea y de una asa para llevar la caja. El fondo tiene otra abertura para la lámpara.

La portezuela del compartimiento de la lámpara tiene un ventanillo de cristal *l*, por el cual se puede observar si la mecha arde bien, sirviendo también para poder, á la luz que por él sale, escribir los despachos.

La caja está suspendida de una horquilla *h h*, cuyo travesaño *t* tiene un orificio roscado *r* para el pivote que corresponde á la cápsula que forma la cabeza del trípode, en la cual permanece el pivote durante el transporte. Haciendo girar la caja se le da la dirección deseada en sentido horizontal, manteniéndola en ella por medio del tornillo de presión *m*. Los movimientos en sentido vertical se obtienen por el segmento dentado *d*, sujeto en el fondo de la caja, y por un tornillo sin fin *e e*. Se hace girar este tornillo con la manivela *g*, que para el transporte se quita y se suspende en g_1.

El trípode consta de una cabeza de latón y tres ramas de madera provistas de azuches y tacos de madera, para poder clavarla en el suelo con ayuda del pie.

Los objetos accesorios y de reserva se alojan en dos cajas, en una los necesarios para la aplicación de las luces solar y eléctrica y la rectificación del aparato, y en la otra los objetos para el empleo de la lámpara de petróleo. Las cajas se llevan suspendidas de los hombros por correas de cuero.

La rectificación del aparato se reduce á comprobar si los ejes ópticos de la lente y del anteojo son paralelos, y si la parte más intensa del foco luminoso está en el foco de la lente. Para lo primero se hace uso del ocular de Ramsden (desprovisto del espejo) colocado en la cápsula de la pared posterior de la caja y formando de este modo con la lente un anteojo suficientemente bueno para el objeto. Se dirige una visual por cada uno de los dos anteojos á un objeto alejado 20 ó 30 kilómetros, cuya imagen debe aparecer en el centro de los anteojos. Si esto no se verifica, se hace girar la caja hasta ver la imagen en el centro del anteojo

formado por la lente y el ocular de Ramsden, y acto seguido, obrando sobre los cuatro tornillos del anteojo receptor se dirige éste de modo que la imagen del mismo objeto se presente en su centro. La segunda rectificación se hace por medio de un instrumento particular, cuya parte más ensencial consiste en dos espejos unidos en ángulo recto. Se fija el instrumento en la pared anterior de la caja cuando los espejos se encuentran cada uno delante del centro de uno de los dos objetivos. Colocando la lámpara en su lugar es necesario que un punto, que corresponde á la parte más intensa de la llama, se presente en el centro del retículo del anteojo receptor.

Esta última comprobación no es necesario hacerla frecuentemente, puesto que siendo el aparato metálico no son tanto de temer los desarreglos por deformaciones ó sacudidas.

Como queda dicho, este aparato está dispuesto para el empleo de diferentes focos luminosos; pero debemos manifestar que los ensayos hechos con lámparas eléctricas no han dado el mayor resultado, dándolo en cambio muy satisfactorio con la luz solar y la lámpara de petróleo de mecha cilíndrica. Con estos dos focos se obtiene un alcance de 50 kilómetros. A 25 kilómetros, con atmósfera despejada, se pueden leer las señales á simple vista.

Para montar y desmontar la estación se invierten muy pocos minutos, aun por la noche, y la estación no necesita más que dos ó tres telegrafistas. La rapidez y exactitud de la manipulación y la lectura de los despachos dependen naturalmente de la práctica de los telegrafistas, pero puede decirse que es posible transmitir, con toda la rapidez que permite la lectura de los signos, 25 letras por minuto, por término medio.

La perfección con que vimos funcionar este aparato y su alcance, nos ha movido á dar su descripción detallada, consignando en apoyo de nuestra opinión los resultados de las experiencias que con él se ejecutaron en Bélgica (10 al 17 de Septiembre de 1888) y de las cuales fué encargado el capitán Waffelaert, quien resume así sus conclusiones: «El aparato óptico del capitán danés Tychsen ha sido experimentado en un tiempo relativamente malo. Él ha permitido, sin embargo, transmitir con facilidad por la noche, con una sencilla lámpara

de petróleo, á una distancia superior á 37 kilómetros, empleando un personal que nunca había transmitido á grandes distancias y que no estaba práctico en la telegrafía eléctrica. La distancia de 37 kilómetros no es una distancia límite en las condiciones en que hemos operado, porque en Coxyde se leía con la mayor facilidad con los anteojos y se hubiera podido sin duda transmitir á 50 kilómetros, en las mismas circunstancias, con un personal práctico y habituado á leer las señales del aparato. Este ha funcionado bien con un viento muy fuerte y lluvias muy intensas..... Pero puede decirse desde ahora que el aparato del capitán Tycheu es excelente y muy práctico, facil de instalar y de manejar» (*).

121. Aparato del capitán Nokkentved. Es análogo al precedente y como él un perfeccionamiento del aparato francés. El manipulador se reemplaza por un hilo metálico, provisto de un botón de madera, de donde se tira para alejar la pantalla de la abertura.

122. Aparato del capitán Rambusch. Se distingue particularmente de los dos aparatos anteriores por una distancia focal de la lente más corta (lo que da mayor campo), por la construcción especial del manipulador y por la unión con el trípode, construido con el especial objeto de ser empleado en las estaciones intermedias.

Este aparato es construido por el mecánico L. Lund, de Copenhague.

123. Todavía no está desarrollado por completo este servicio en Dinamarca y el material de que dispone no es muy numeroso. El carro con los útiles necesarios para el establecimiento de las vías es arrastrado por dos caballos. Como puente desmontable tienen el Eiffel, aunque no ha sido todavía declarado reglamentario. **Ferrocarriles.**

124. En otra barraca aislada se hallaba el material aerostático, modelo francés, idéntico al nuestro. El globo hinchado podía mantenerse en el interior y una pared desmontable facilitaba su entrada y salida en el almacén. Este material fué adquirido por los daneses á título de experimentación, pero reconocían que en su país el empleo de este elemento es limitadísimo por los fuertes vientos reinantes, que les imposibilitan hasta para adquirir la necesaria instrucción. **Material aerostático.**

(*) *Un appareil de campagne perfectioné pour la télégraphie optique aux grandes distances.*—WAFFELAERT.

PARQUES.

125. Al otro extremo de la población y no léjos del cuartel de artillería en construcción se halla situado el parque de reserva, que visitamos el día 12. En él vimos el material que para el caso de guerra tienen dispuesto los daneses, constituido por los carros de zapador, telegrafista, ferroviario y pontonero, que á continuación describimos.

126. PARQUES.—Los parques de cada compañía son los siguientes:

Compañía de Zapadores-Minadores.—4 carros, representados detalladamente en las láminas 24, 29 y 30. Están provistos de muelles y la disposición de su juego delantero les permite girar en poco espacio. Son arrastrados por cuatro caballos. Cada carro contiene cinco cajas; cuatro entre los brancales y una bajo la tabla de concha, transportándose en ellas herramientas para 175 zapadores y 20 carpinteros. En la parte central del carro se levanta una espiga para el transporte de una rueda de respeto.

Compañía de Pontoneros.—28 carros: 24 de ellos transportan el material de puentes y 4 son idénticos á los de los zapadores.

Compañía de Telegrafistas de primera línea.—9 carros: 1 carro estación, 4 llevando el material necesario para cinco estaciones y 30 kilómetros de línea, y 4 carros ligeros para la telegrafía óptica, con material para cuatro estaciones.

Compañía de Telegrafistas de segunda línea.—6 carros (fig. 5, lám. 29), transportan material para cuatro estaciones, 15 kilómetros de línea con los postes correspondientes y 60 sin postes.

Compañía de Ferroviarios.—10 carros: 4 de zapadores, 5 con material y herramientas para 150 obreros ferroviarios, y 1 de cajón. Este carro (láminas 31 y 32) transporta 50 kilógramos de pólvora, 142 kilógramos de algodón-pólvora comprimido, 940 metros de salchicha instantánea, explosores y cebos eléctricos.

Compañía de Parque.—49 carros: 4 de zapadores-minadores, 20 con útiles para 1500 hombres, 8 con herramientas para 320 carpinteros, 1 con herramienta menuda para dos carpinteros de taller y dos de armar, 1 con herramientas para dos guarnicioneros y dos carreteros; 4 fraguas de

campaña con útiles para cuatro herreros y ocho herradores; 7 carros de material de respeto; 3 de cajón con pólvora y algodón-pólvora como los de la compañía de ferroviarios, y 1 de aparatos de iluminación.

Cada sección de zapadores, compuesta de un sub-oficial, un cabo y 16 soldados, lleva dos sierras articuladas y un serrucho (una sierra el sub-oficial y otra y serrucho el cabo), nueve palas cuadradas, tres zapapicos, dos hachas de leñador y dos de mano.

Cada sección de las compañías de telegrafistas está provista de los mismos útiles, con la sola diferencia de llevar una pala ménos y un hacha y un zapapico más.

Defensas de Copenhague.

127. Dinamarca, á pesar de la bizarría de su ejército y de la tenacidad de que ha dado muestra en las luchas que ha tenido que sostener contra las naciones más poderosas de Europa, ha sufrido desde principios de este siglo importantes mutilaciones en su territorio, vencida siempre por fuerzas enormemente superiores á las suyas. Perdió la Noruega por la paz de Kiel, los ingleses se apoderaron de la isla de Helgoland, que recientemente cedieron á Alemania, y en el año 1864, como resultado de la guerra contra Prusia y Austria, aliadas, le fueron arrebatados los ducados (Holstein, Lauenburgo y Schleswig), quedando así reducida á la Jutlandia y las islas inmediatas (Fionia, Seeland, Laaland, etc.)

En la imposibilidad de atender á la defensa de todo su territorio actual, pues su ejército, que en caso de guerra ascenderá á lo sumo á 50 ó 60.000 hombres, sería fácilmente batido al estar diseminado, los daneses se han limitado á defender su capital, Copenhague, que es al propio tiempo su arsenal y puerto comercial y militar de primer orden, creando en ella un gran reducto, en el cual puedan resistir hasta el último extremo, dando tiempo á que la política europea, representada en este caso por los celos recíprocos de las grandes naciones Inglaterra, Alemania, Rusia, Francia, Austria, Italia, intervengan en favor de la independencia é integridad de territorio de este pequeño Estado.

Hállase Copenhague (Kjöbenhavn) admirablemente situada sobre el Kallebodstrand, estrecho y profundo brazo del Sund, que separa las islas Seeland y Amager. Este brazo forma el excelente puerto comercial á que debe la ciudad su importancia, y en él se encuentra también el

puerto militar y el arsenal. La ciudad, fundada en el siglo XII, es capital del reino de Dinamarca desde 1448, y cuenta hoy con 300.000 habitantes.

Las antiguas fortificaciones han sido desmanteladas en la parte correspondiente á la isla de Seeland, á excepción de la ciudadela Frederikshavn (véase letra *S*, fig. 1, lám. 27), pentágono regular abaluartado, con fosos de agua.

El recinto antiguo, también abaluartado y con fosos de agua, que cubre la parte de ciudad situada en la isla de Amager, el arsenal y puerto, subsiste.

El Sund, paso formado por la isla de Seeland y las costas de Suecia, tiene su parte más estrecha (4 kilómetros) en El Singör, al Norte de aquella isla, y se ensancha hacia el Sur dividiéndose, al Este de Copenhague, en tres canales profundos, llamados Paso Real (comprendido entre Copenhague y el alto fondo de Middelgrund), Paso de los Holandeses (entre el Middelgrund y los altos fondos inmediatos á la isla Saltholm) y Paso de Malmo (entre la isla de Saltholm y la costa de Suecia).

La isla de Seeland se comunica con el continente, principalmente, por la línea férrea de Copenhague á Korsör, puerto del Oeste de dicha isla, y por una línea de vapores que hacen el servicio entre Korsör y Kiel, pasando entre las islas Langeland y Laaland.

En Roskilde, estación de la línea férrea de Korsör á Copenhague, á 30 kilómetros de la capital, se unen otras dos líneas férreas que parten del Oeste y del Sur de la isla.

El terreno de las inmediaciones de Copenhague, en la parte *B*, correspondiente á los frentes del Oeste, es bajo y casi horizontal, con una ligera pendiente hacia el Sur. Elévanse después, poco sensiblemente, de *N* á *E* (frente del Noroeste), y más rápidamente de *E* á *F* (frente del Norte), alcanzando su mayor altitud en *A*, colina cubierta de un monte de hayas (*la fôret*).

El lago *X* puede producir inundaciones en *C*, en *M'*, *N'*, *P'* y en *R*, y suministrar el agua necesaria á los fosos del recinto del Oeste, todo en tres días. Estas inundaciones constituyen un gran elemento defensivo para los frentes Noroeste y Norte, que son por los que consideran más probable el ataque.

Por la parte marítima no es de temer el ataque por A_1, á causa de los altos fondos que impiden la aproximación de barcos de algún calado; así es que la defensa ha de atender solamente á la costa oriental de las islas Seeland y Amager, y á cubrir de fuegos el canal B_1 C_1 (Paso Real), formado por dicha costa y el Middelgrund.

Las obras de defensa hoy construidas son:

Defensa terrestre.

128. Frente Oeste.—Un recinto contínuo A' M' de tierra, con foso de agua y camino cubierto. Tiene unos 14 kilómetros de desarrollo, y está á 7 ú 8 kilómetros de distancia de los fosos del antiguo recinto de Copenhague, hoy destruido.

Frente Noroeste.—Fuertes permanentes H (Gammelmosegaard) y L (Garderhöj), en primera línea. Baterías permanentes x, z, s y s', que habrán de unirse, en tiempo de guerra, por medio de una trinchera x' s'.

Frente Norte.—Fuerte permanente b (Cristiansholm).

Defensa marítima.

129. Baterías permanentes, 1 (Charlottenlund), 2 (Kalkbraenderi), 3 (Strikers) y 4 (Kastrup).

Fuertes marítimos, antiguos, Trekroner, Lynetten, Mellemfort y Prövesten.

Fuerte marítimo, en construcción, de Middelgrund.

Contribuyen también á la defensa marítima la ciudadela antigua S y el recinto antiguo T V, que protege el puerto y se opone á los ataques por la isla de Amager.

Obras proyectadas.

130. Frente Oeste.—Para reforzar el recinto contínuo están proyectados tres fuertes destacados: el R' (Valensback) y otros dos.

Frente Noroeste.—Los fuertes N y M con baterías en los intervalos. En unión de los H y L completarán la primera línea, y el N flanqueará las inundaciones R.

Frente Norte.—En *a a'*, dos cúpulas unidas por un atrincheramiento de campaña contínuo.

131. Defensas marítimas.—Un fuerte en *R*, en los altos fondos de Middelgrund, semejante al *P*. Dos baterías *T'* y *V'*, en la isla Amager. Los fuertes *P* y *R* defienden también el paso D_1 y C_1 (canal de los Holandeses).

Considerando débil el frente Norte, y la necesidad de ocupar la posición dominante *A*, tienen en estudio nuevas obras de defensa que la comprendan y que formarán una nueva línea *E A F*. No es que desconociesen la importancia de esta posición desde un principio, pero el excesivo desarrollo de los frentes (más de 30 kilómetros), que no está en proporción con el efectivo de tropas de que podrán disponer para la defensa, fué causa de desatender la citada posición *A*.

Detalles de las obras de defensa.

132. Frente Oeste.—El gran desarrollo de este frente (más de 14 kilómetros), la razón de economía en la construcción y la no menos atendible de terminar en el menor tiempo posible las obras para poner á la capital á cubierto de un ataque, decidieron á los ingenieros daneses á la construcción de un recinto contínuo de tierra, con foso sin revestimientos. Bien es verdad que la facilidad de producir inundaciones y de llenar de agua los fosos aumenta el valor defensivo de estas fortificaciones.

El trazado del recinto está representado en la fig. 21. Los lados *A B*,

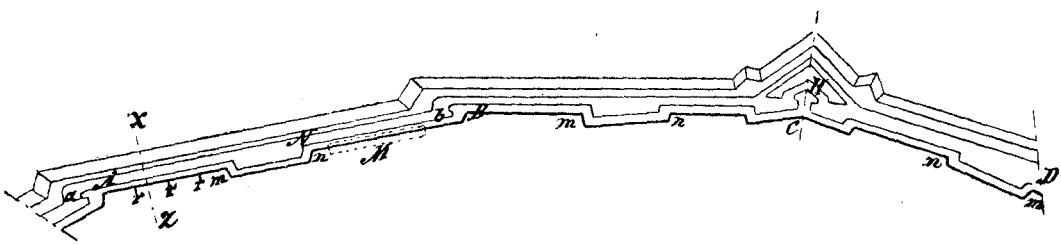


Fig. 21.

B C, etc., que forman ángulos muy obtusos, llevan los pequeños flancos, desiguales, *m n* (los *m* mayores que los *n*) para el flanqueo del glásis y camino cubierto.

Para la defensa lejana la artillería se coloca al descubierto en *A E*, *N B*, etc., entre los traveses *r*, macizos unos y otros abovedados, á

prueba, que hacen el servicio de almacenes de municiones para el armamento de seguridad. En algunos de los lados *N B* hay abrigos á prueba, *M*, para la guarnición.

Los fosos, que son de agua y sin taludes revestidos, como ya en otro lugar hemos dicho, están flanqueados por semicaponeras *b* y caponeras *H*, de mampostería, cuyos detalles de construcción damos más adelante.

Según puede verse por la sección *X Z* (fig. 22), su organización es

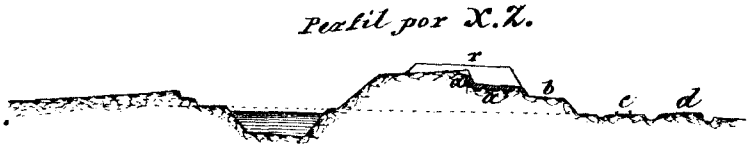


Fig. 22.

la siguiente: Glásis y camino cubierto; foso de agua; parapeto; terraplén de defensa con macizos de hormigón en el emplazamiento de las piezas, y cañoneras con talud en contrapendiente; terraplén de circulación *b* y dos vías al pié, una férrea *c* y otra ordinaria *d*. En *r* se ve uno de los traveses.

Aunque el terreno sobre que asientan las obras es sensiblemente horizontal, ha habido necesidad de dividir el foso en toda su longitud en varios tramos de solera horizontal (fig. 23) por medio de vertedores de

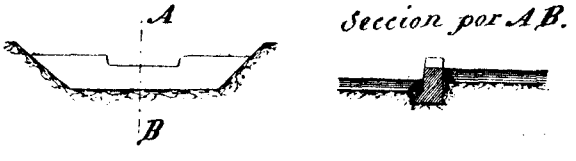


Fig. 23.

mampostería sólidamente cimentados, provistos de sus correspondientes escolleras en los piés de los paramentos de aguas arriba y aguas abajo, para evitar las socavaciones.

Las comunicaciones del recinto con el glásis á través del foso consisten en pequeños puentes de hierro, cuyas cepas constan de tres pilo-

tes de rosca y peana, *A B C* (fig. 24), unidos por la triangulación *D*, y en sus cabezas por la cumbrera *a* (dos vigas doble T, yustapuestas). Las cumbreras sirven de apoyo á las viguetas doble T *(b)*, sobre las cuales asienta el palastro ondeado *c* y firme *d*.

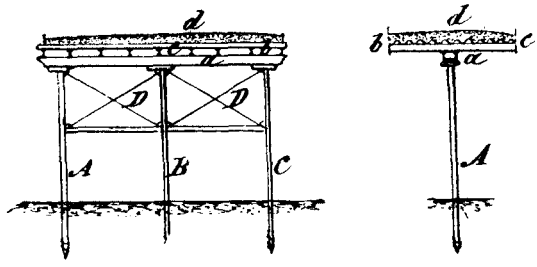


Fig. 24.

Las obras de mampostería (almacenes y caponeras) ofrecen tres disposiciones que merecen ser conocidas, encaminadas á poner el interior de ellas á prueba de los proyectiles, cuestión interesantísima para el oficial de ingenieros, dado el poder destructor de las granadas-torpedos ó granadas-minas, cargadas de algodón-pólvora, melinita ú otros explosivos.

133. En los almacenes de municiones para el armamento de seguridad (véase fig. 1.ª, lám. 28), la bóveda *a* (que es de hormigón de cemento, así como los estribos, bajada y muro de cabeza) es de 1^{m},50 de espesor en la clave y está cubierta: 1.°, de una capa de tierra *n* de 1^{m},50 de espesor; 2.°, de un macizo *c* de 1^{m},80 de grueso, de mampuestos graníticos, formando mampostería en seco enripiada con grava silícea, excepto en los 0^{m},50 de espesor superior, en donde los mampuestos están tomados con mortero de cemento; 3.°, de una capa de tierra *m* de 0^{m},80 de grueso, que preserva á los macizos *c* de las influencias atmosféricas. El muro de fondo *r*, de 0^{m},90 de espesor, está también protegido por la capa de tierras y macizo de mampostería de granito.

134. La figura 3 de la lámina 28 representa la sección transversal de una semicaponera. Toda la protección se ha buscado en una capa única de hormigón de cemento, porque el relieve no permitía emplear espesor conveniente de tierra. Para la construcción del techo, que es adintelado, utilizaron carriles viejos Vignole, apoyados en vigas maestras de hie-

rro *m*, que descansan en los muros y en apoyos intermedios, de hierro también. Entre las zapatas de los carriles se colocaron planchas de palastro y sobre toda la armazón va un macizo *b* de hormigón de cemento, de 3 metros de espesor, recubierto de una capa de tierra *a* de $0^m,50$, cuyo objeto no es otro que el de preservar el macizo de las influencias atmosféricas. Los muros *e* y *d*, también de hormigón de cemento, tienen respectivamente $2^m,40$ y $0^m,96$ de espesor.

135. En la figura 2 de la citada lámina 28 se ve representada la sección transversal de una caponera acorazada. Aquí todavía se disponía de menor relieve que en la semicaponera anterior, y por esta razón se ha sustituído con planchas de hierro laminado una parte del espesor de la bóveda plana.

e = Vigas maestras de hierro.

d = Carriles viejos, unidos en su parte superior por una plancha de palastro, en la que terminan los pernos *m* de cabeza avellanada, que aseguran la plancha superior de blindaje *b*. Por debajo de los carriles está colocado su techo *d*, de tabla.

a = Macizo de hormigón de cemento, de $0^m,90$ de espesor.

b = Plancha de hierro laminado, $0^m,117$ de grueso.

c = Delgada capa de asfalto preservadora del blindaje.

Los muros *a'*, de hormigón, tienen $2^m,10$ de espesor.

136. En las construcciones precedentes se ha empleado el hormigón de cemento, de la composición siguiente:

	Cemento de Portland.	Arena.	Grava silícea.	
Fundaciones y suelos.	1	4	7,5	
Muros.	1	3	6	
Bóvedas cubiertas de capa de piedra granítica (como las de la fig. 1, lámina 28)..	1	3	6	Piedra machacada granítica.
Bóvedas no cubiertas (fig. 2, lámina 28):				
El $1^m,25$ de espesor superior.	1	2	4	
La parte restante.	1	3	6	

El general Brialmont (*) propone construir las bóvedas con dos macizos de hormigón, separados por una capa intermedia de arena. Para las bóvedas de $3^m,50$ á $5^m,50$ de luz, el grueso del primer macizo en la clave debería ser de 1 metro; la capa de arena que va inmediatamente encima, de 1 metro de espesor también, y el macizo superior de hormigón, de $1^m,50$; en total, $2^m,50$ de hormigón y 1 metro de arena seca. En la bóveda de $5^m,50$ á $7^m,50$ de luz, el grueso del primer macizo debe ser, según el citado general, de $1^m,50$, é iguales á los anteriores los espesores de arena y del segundo macizo.

Esta disposición no es conveniente, y así lo han demostrado las experiencias realizadas por los ingenieros daneses. El mismo general Brialmont pone en duda el éxito, cuando se expresa así: «L'application du bêton sur le sable presente un inconvénient qu'il importe d'éviter. Le damage des premières couches fait pénétrer dans le sable de l'eau chargée de ciment et le transforme en une espèce de bêton maigre qui transmet les vibrations à la voûte. Ce phénomène a été constaté paraît-il à Bourges (**).»

Las vibraciones, sumamente perjudiciales á la solidez de la bóveda interior, tienen lugar, en efecto, pero no por la causa que dice Brialmont, ni se evitan tampoco colocando inmediatamente encima del trasdós de la primera bóveda un chapeado de ladrillo sentado de plano, tomado con mortero de cemento antes de cargar la capa de arena, como propone.

La razón de las vibraciones se debe á la incompresibilidad de la arena, que funciona para estos efectos como un perfecto fluído; así es que cuando un proyectil destruye el macizo superior del hormigón, los efectos de la explosión, que se traducen en compresiones enérgicas en el macizo de arena, no solamente se transmiten íntegros á la bóveda inferior, sino que se multiplican, á semejanza de lo que sucede en una prensa hidráulica, haciendo en este caso la arena pura y seca el papel del agua.

Por esta razón creemos perjudicial la disposición preconizada por

---

(*) *Influence du tir plongeant et des obus-torpilles sur la fortification*; páginas 347 y siguientes.
(**) Página 350 de la obra citada en la nota anterior.

Brialmont, y entendemos que es preferible el sistema empleado por los ingenieros daneses.

La capa superior de piedras duras (graníticas con preferencia) ofrece una gran resistencia á la fuerza viva del proyectil, y la capa de tierra (no arena) compresible absorbe una gran parte de las vibraciones producidas en la explosión de aquél, resguardando de este modo á la bóveda interior.

En los casos en que no es posible cubrir las bóvedas con espesor de tierra suficiente (7 á 8 metros) para que ésta baste á preservar las mamposterías, los ingenieros dinamarqueses emplean, como hemos visto, macizos de hormigón de 3 metros de espesor, que es lo recomendado hoy por distinguidos ingenieros, en vista de las experiencias verificadas en Francia, Bélgica y Alemania con mamposterías expuestas á los efectos de proyectiles cargados con pólvoras rompedoras, para luces de 4 á 6 metros, ó bien combinación de hormigón y planchas de hierro laminado de las dimensiones que ya hemos citado.

La grava y piedra machacada, empleada en el hormigón, ha de ser, en lo posible, silícea, y bien lavada ántes de la mezcla, para despojarla del polvo ó barro que pudiera cubrir su superficie, y que sería causa de que no uniera bien al cemento. Esta precaución, necesaria para toda clase de hormigones, es de importancia grande en las obras de que tratamos, expuestas al efecto de los proyectiles, pues de que el macizo sea un monolito, sin grieta alguna, depende en mucha parte la resistencia.

137. Fuertes del frente Noroeste.—El de Gammelmosegaard (*H*) es de planta triangular, con seis cúpulas, para cañones de 15 centímetros, ametralladoras y cañones de tiro rápido. El de Gaderhöj (letra *L* del plano, fig. 1, lám. 27) es de planta trapecial y tiene para el flanqueo de los fosos dos caponeras adosadas á la escarpa en los extremos de la diagonal Noroeste-Sudeste. Está armado con cañones de 15 centímetros y de tiro rápido.

La organización general de estos fuertes es la que propone Brialmont en sus últimas obras.

138. Fuerte del Norte.—El fuerte de Cristiansholm (letra *A* de la

figura 25) tiene dos cúpulas Gruson-Schumann, para dos cañones de 15 centímetros, que baten de enfilada las inundaciones de la parte Oeste, y dos baterías *B* y *C* al descubierto.

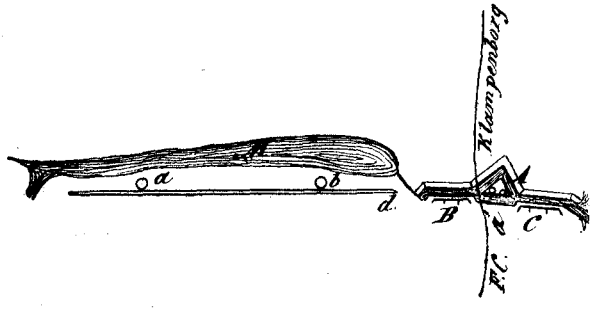


Fig. 25.

Está proyectado el establecimiento de dos cúpulas en *a b*, apoyadas á una trinchera *c d*.

139. Defensas marítimas.—La batería Charlottenlud (núm. 1) tiene dos piezas Krupp de 30,5 centímetros, separadas por un elevado través, y dos piezas de 17 centímetros, todas á barbeta. En iguales condiciones se halla el artillado de las baterías 2, 3 y 4.

El fuerte Trekroner (fig. 26) está construido sobre un islote artifi-

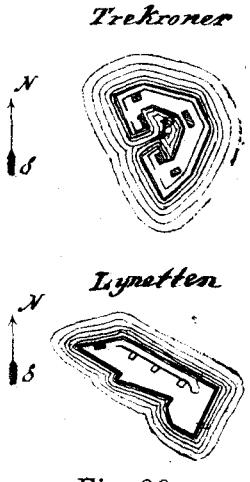


Fig. 26.

cial, fundamentado en un alto fondo próximo á la costa. Es antiguo,

pero está armado de artillería moderna colocada á barbeta. Es de forma exagonal, irregular, y tiene un pequeño puerto interior *P*.

El fuerte Lynetten (fig. 26) se halla en idénticas condiciones, y lo mismo puede decirse de los fuertes Mellem y Prövesten.

Está en construcción el fuerte de Middelgrund, situado en la punta Norte de los altos fondos que forman el banco de aquel nombre. Tuvimos ocasión de visitar los trabajos de fundación, ya casi terminados, y como quiera que puede considerarse como el tipo de las obras de esta especie que en Dinamarca se construyen, las describimos á continuación, siquiera sea ligeramente.

El fuerte, cuya planta está dibujada en la figura 2 de la lámina 27, está precedido de un rompeolas que asienta directamente sobre el alto fondo, en una profundidad media de agua de $7^m,20$. Entre el rompeolas y el fuerte queda un foso de agua de 18 metros de ancho, y en la gola forma el rompeolas un pequeño puerto, separado del foso por dos pequeños muros submarinos (véanse las líneas de puntos), y provisto de un pequeño muelle *X*.

Construido el rompeolas, los muros submarinos y el del muelle *X* del puerto, se rellenó el espacio interior, comprendido por estas obras, con arena arcillosa, hasta que la superficie superior del macizo tuviese la cota $2^m,80$ por debajo del nivel del mar. (Véanse los cortes por *A B* y *C H*; figuras 2 y 3, láminas 27 y 29.) Sobre este macizo (fig. 3, lám. 29; corte por *C H*) se cimentó el que sirve de asiento al fuerte propiamente dicho, clavando un tablestacado de recinto, con macizos de arena exterior é interior, y fundando sobre éste un pequeño muro de revestimiento, que contiene un segundo macizo *M'* de arena arcillosa, de talud exterior natural, con el pié revestido de empedrado.

El rompeolas, que á más de la misión que su nombre indica llena la de muro de contraescarpa del foso interior de agua (fig. 2, lám. 27; corte por *A B*), tiene dos máscaras de mampostería, y relleno de arena en la parte sumergida, y está resguardado del mar por una gran escollera. El paramento interior, en *a b*, está fortalecido con plancha de hierro. Enrasado de nivel en *a*, lleva en la parte superior los macizos de hormigón que aparecen en la figura.

El rompeolas, en la parte que forma puerto, se convierte en dique,

y su organización está representada en las figuras 2 y 1, lámina 35 (secciones por *E F* y *C D*).

La figura 5 (lám. 29, corte por *L M*) representa el corte transversal de los muros submarinos que separan el puerto de los fosos, y la figura 4 (lám. 29, corte por *J K*) da la sección del muelle *X* situado en la gola del fuerte.

Todos los muros son de hormigón de cemento (1 de cemento + 4 de arena + 7 de piedra machacada). En el revestimiento exterior del rompeolas, cuya sección está representada en la figura 2 (lám. 27), el hormigón se compone de 1 de cemento + 2 de arena + 3 de piedra.

Cuarteles. *140.* Visitamos, con gran detenimiento, un cuartel de artillería, casi terminado, pues solamente faltaban algunos detalles interiores de carpintería y herrería, y creemos conveniente dar algunas noticias de esta obra, no solamente porque se tenga idea del modo de resolver el problema en los países del Norte, sinó también para que se vea el desarrollo de programa de esta clase de edificios en Dinamarca.

El cuartel se compone de varios edificios aislados que ocupan una superficie próximamente, rectangular, de 190 metros por 170 metros, es decir, más de 32.000 metros cuadrados de área. Y sin embargo, todo este inmenso solar, y las grandes masas de edificios que contiene, sirven tan sólo para el alojamiento de tres baterías.

A la derecha de la puerta de entrada se encuentra un pequeño cuerpo de guardia, y detrás dos edificios, destinado, el primero, á pabellones de oficiales y oficinas, y el segundo, á pabellones de sub-oficiales y otros usos.

Detrás de los pabellones hay una explanada rectangular, dedicada á picadero descubierto, y á continuación está el picadero cubierto.

Al Sur de la explanada se encuentran los pabellones aislados, uno por batería, en que se aloja la tropa (piso principal) y el ganado (piso bajo), y al Norte están otros tres edificios destinados á las piezas (piso bajo) y atalajes (piso principal).

El cuartel cuenta, además, con los edificios siguientes:

Cuadras para caballos de oficiales.

Taller de carruajes.

Taller de herramientas.

Pequeño parque de material.
Enfermería de ganado.
Sala (cubierta) de ejercicios.
Servicio sanitario.
Almacén de forraje.
Letrinas.
Pajares.
Estercoleros.
Cocinas y comedores.

Los edificios destinados al alojamiento de tropa y ganado son de planta rectangular de 44 metros $\times$ 11 metros.

En la planta baja están las cuadras, dispuestas con verdadero lujo. La plaza de cada caballo es de $1^m,60$ de ancho, con vallas y pesebres de fundición, con 25 metros cúbicos de aire, volúmen no muy grande por cierto. No hay en las cuadras, algo bajas de techo ($3^m,70$), más ventilación que la natural.

En la planta principal, destinada á dormitorios de tropa, la distribución es semejante á la empleada en Alemania y otros países del Norte. Un largo pasillo da acceso á varios pequeños dormitorios de $8^m,20$ por $4^m,60$ y $3^m,20$ de altura, correspondiendo á cada soldado un volúmen de aire escaso (unos 10 metros cúbicos); bien es verdad que los aparatos de ventilación de que están provistas estas pequeñas salas, y el clima de Copenhague, no hacen tan necesario como en nuestro país volúmenes de aire grandes. De todos modos, la cifra anterior es pequeña y hubiera sido conveniente aumentarla dando mayor altura á los techos. El pavimento de los dormitorios es de madera.

El programa de estos edificios es completo, y cuentan á más de las habitaciones de los sargentos, con cuarto de aseo, sala de reunión y comedor, etc. Los almacenes de vestuario, de prendas usadas y atalajes, están situados en las cámaras, que son espaciosas dado el sistema de construcción de la armadura de cubierta.

Las escaleras (de madera) y puertas de comunicación de los diversos pisos tienen poca anchura.

En los edificios destinados á las piezas y atalajes, la planta baja sirve para las primeras y la principal para los segundos, y aun puede

utilizarse para este objeto las cámaras, comunicándose los diversos pisos por una escalera de dimensiones reducidas.

El picadero tiene 44 metros de longitud y 19 metros de luz. La tribuna es lateral, disposición poco ventajosa, porque no se descubre bien todo el interior.

La armadura es de hierro, tipo Polonceau reforzado, sin linterna, y la cubierta de teja plana.

No tienen nada de particular los edificios restantes, y omitimos por esto su descripción, siendo suficiente el exámen de las plantas, cortes y alzados para su perfecto conocimiento.

141. MATERIALES Y DETALLES DE CONSTRUCCIÓN.—La piedra es material raro en Dinamarca, y por esta razón, como sucede en el Norte de Alemania, hacen uso casi exclusivamente del ladrillo, que trabajan admirablemente.

En los edificios que hemos descrito, los muros de fachada y de piñón son de ladrillo prensado, de excelente calidad, marca de Borgoña, que cuestan á 5 coronas el ciento (unas 7 y media pesetas). La fábrica de ladrillo está perfectamente hecha.

En la tabiquería de distribución emplean el ladrillo hueco. En las cámaras vimos tabiques sencillos de $3^m,5$ de altura, sumamente fuertes, construidos con alambre y yeso. La tela de alambre galvanizado, de mallas anchas, se clava en la parte superior é inferior, á listones fuertemente asegurados al suelo y techo, y esta alambrada se viste por ambas caras con yeso, viniendo á resultar al tabique un grueso de 5 centímetros.

La viguería de los suelos es de hierro, y entre las viguetas, espaciadas próximamente $0^m,70$, se voltean bovedillas de ladrillo hueco, de media asta. Los pavimentos son de madera, á excepción de algunos locales situados en pisos bajos, en donde emplean un baldosín silíceo muy duro, del tamaño del nuestro de Ariza, pero más grueso, fabricado en Villeroy el Boch-Metlanch (Bohemia). Es caro (cuesta 10 coronas, unas 15 pesetas, el metro cuadrado), pero sumamente resistente. En Berlin se aplica á lugares muy concurridos (entre otros el Pasaje Panopticum) y su duración es grandísima.

En las armaduras de cubierta, si se exceptúa la del Picadero y Sala

de ejercicios, que por ser visibles son de hierro, emplean la madera. Las cerchas son de forma quebrantada (fig. 27), compuestas de dos pares *a* y

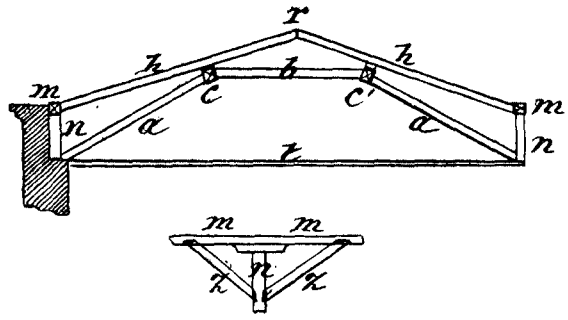


Fig. 27.

puente *b*, que se ensamblan á las viguetas ó correas *c c'*, sirviendo de tirante *t* uno de los cambios del piso. Los pies derechos *n* soportan las carreras *m*, sobre las cuales, y sobre las correas *c*, se apoyan los cambios *h*, que se unen á junta plana en *r*.

Esta clase de armadura es la usada en el país, y sólo por la razón de costumbre podemos explicarnos que la empleen con material madera, haciendo uso del hierro para los entramados restantes.

La cubierta es de teja plana, de forma también muy en uso en las construcciones ordinarias.

Los vanos llevan dobles vidrieras, sin hojas de madera, sirviendo la capa de aire comprendido por aquéllas para que las variaciones termométricas exteriores no influyan en el interior de las habitaciones. Las dobles vidrieras son empleadas en toda Dinamarca y en toda Alemania.

Fig.ª 1.
Puente Pfund.

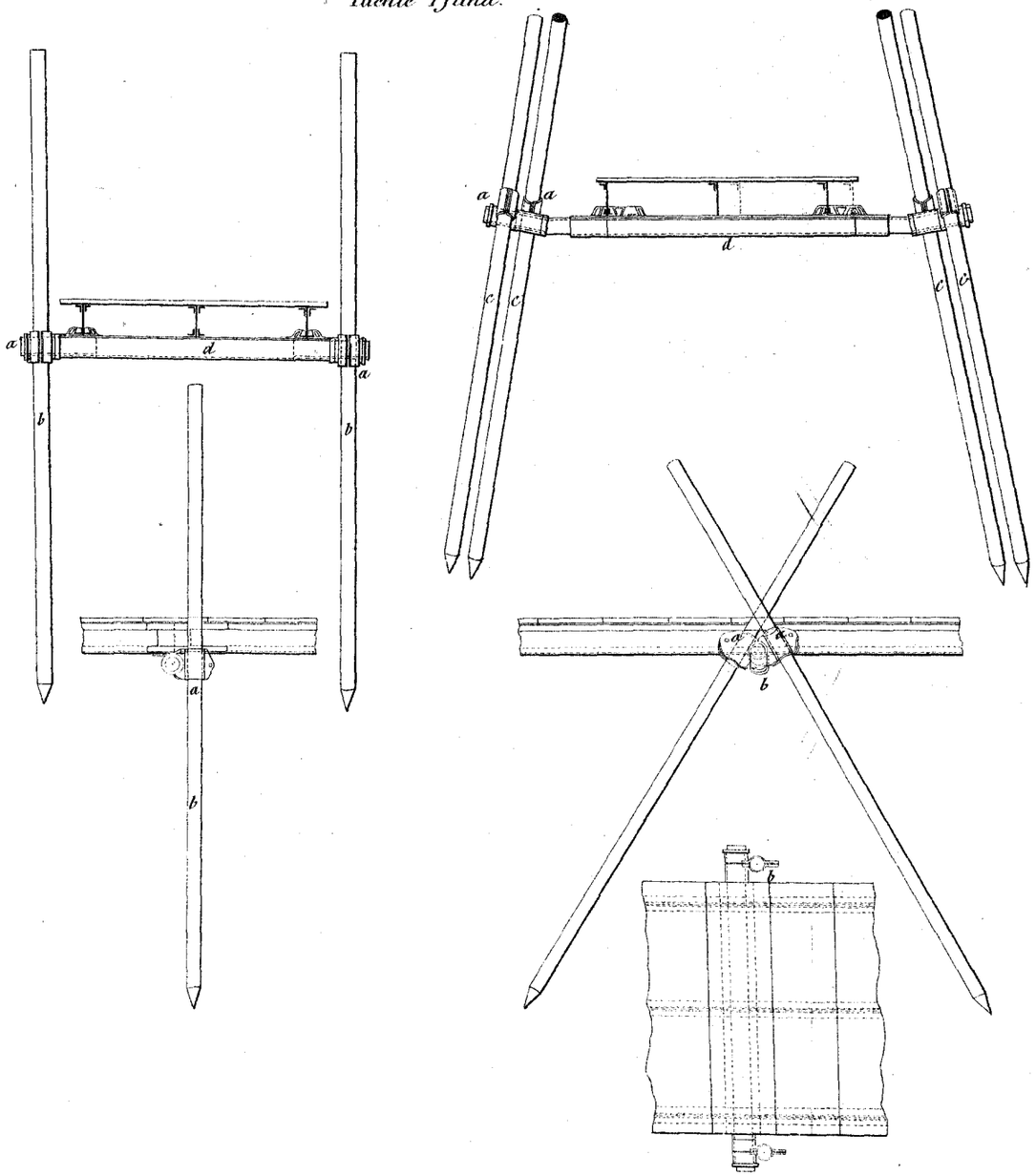


Fig.ª 2
Puente Pfund

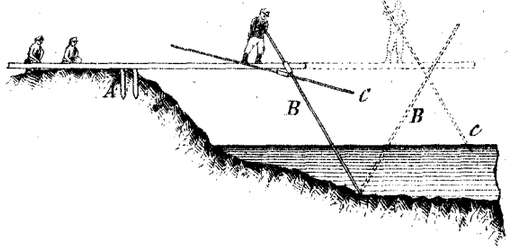
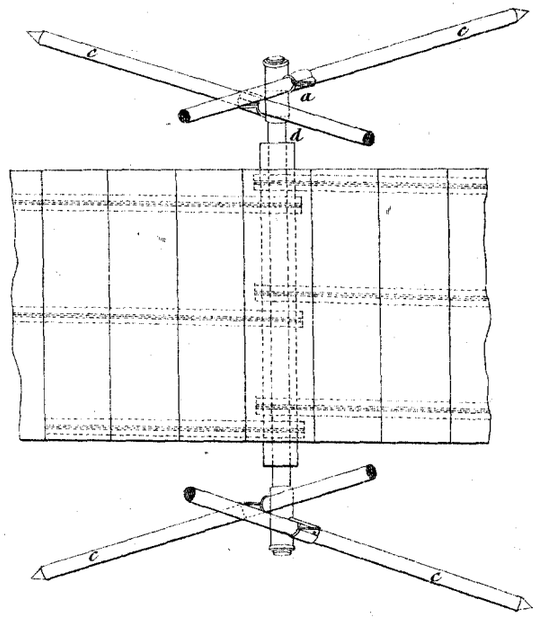


Fig.ª 3
Puente Pfund



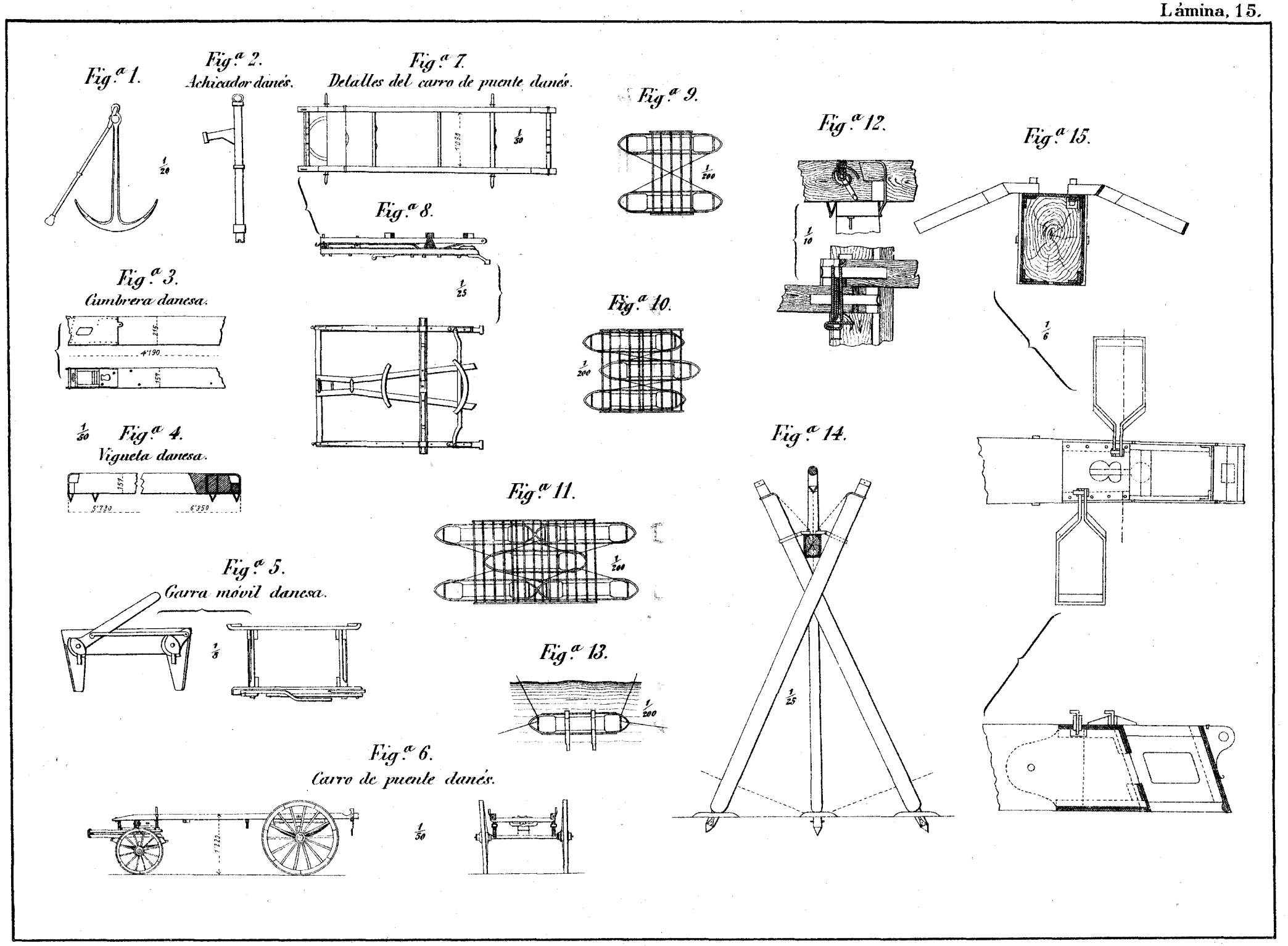


Fig.ª 1.
1/20
Fig.ª 2.
Achicador danés.
Fig.ª 7.
Detalles del carro de puente danés.
1/50
Fig.ª 9.
1/200
Fig.ª 12.
1/10
Fig.ª 15.
1/6
Fig.ª 8.
1/25
Fig.ª 3.
Cumbrera danesa.
215
4'190
157
Fig.ª 10.
1/200
1/50
Fig.ª 4.
Vigueta danesa.
157
5'730
6'950
Fig.ª 14.
Fig.ª 11.
1/200
Fig.ª 5.
Garra móvil danesa.
1/8
Fig.ª 13.
1/200
1/25
Fig.ª 6.
Carro de puente danés.
1/50

Fig.ª 1

Ponton danés (Vista superior y por el fondo.)

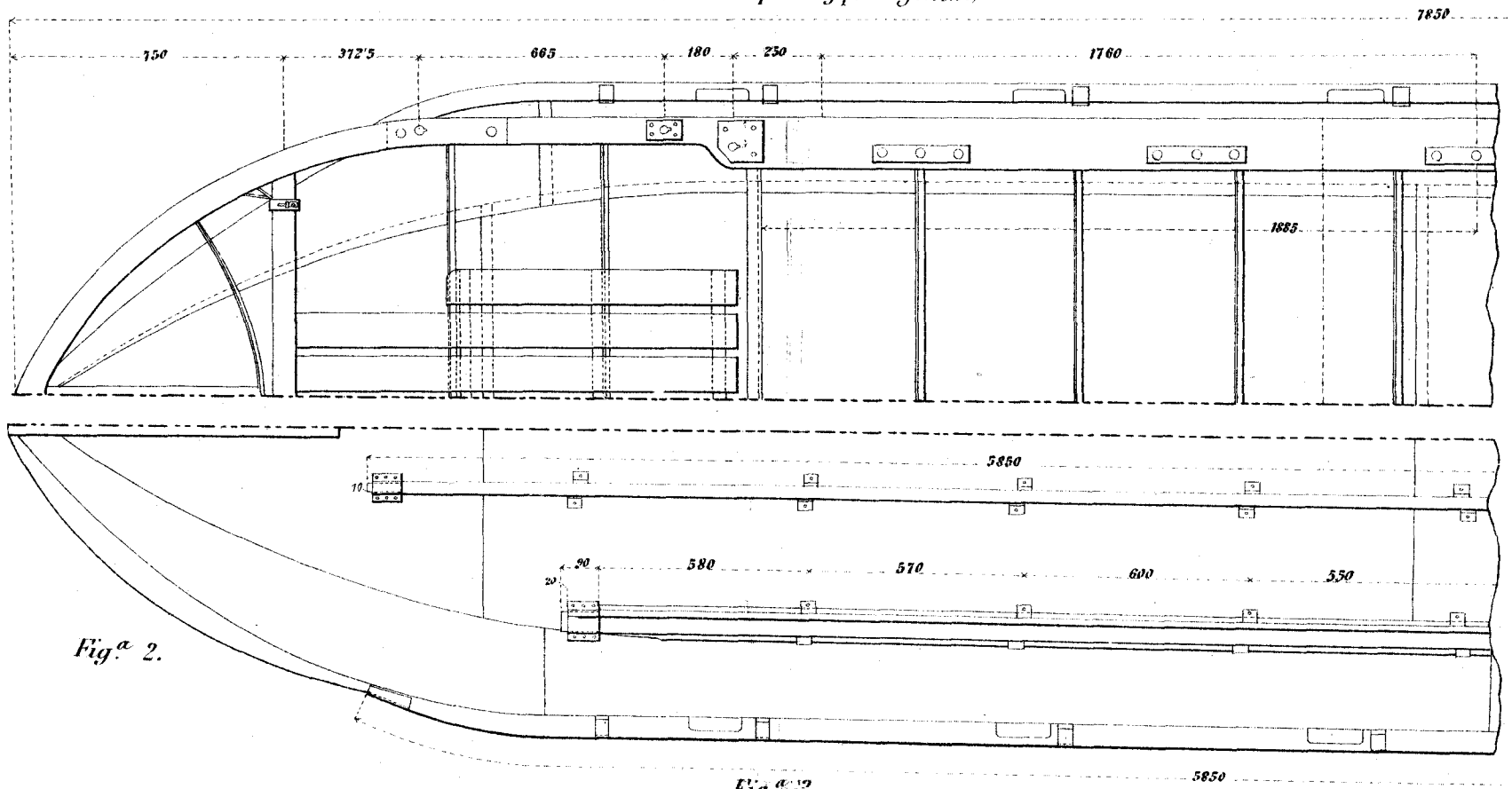


Fig.ª 2.

Fig.ª 3.

Ponton danés (Perfil longitudinal)

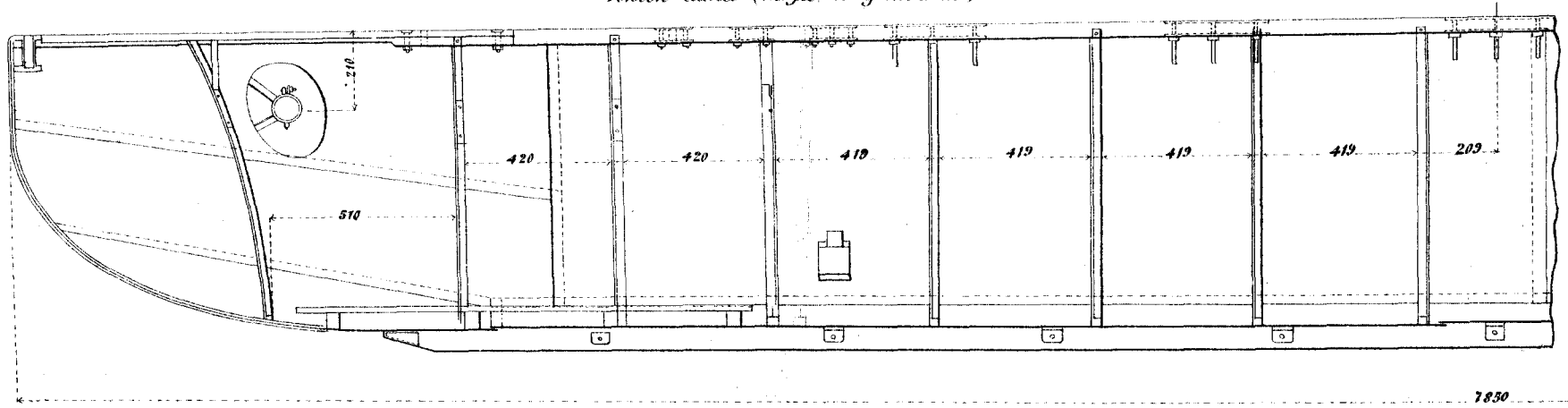


Fig.ª 1.

Ponton danés (Corte por el cuerpo)

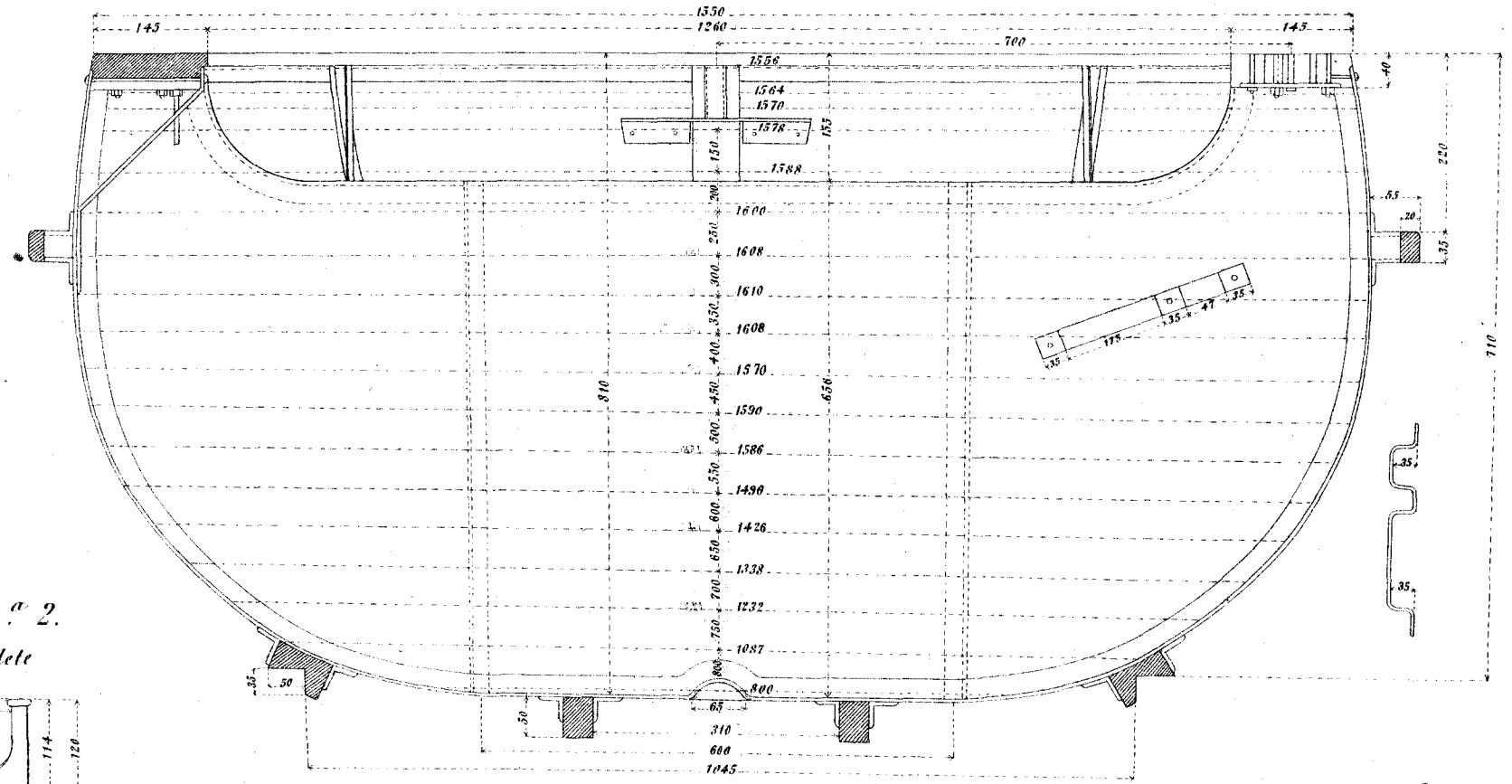


Fig.ª 2.

Tolete

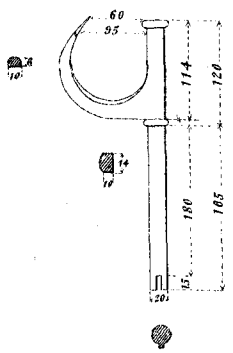


Fig.ª 3.

Detalles de la borda en proa y popa.

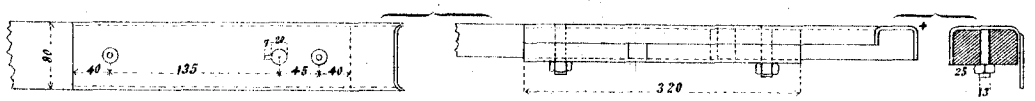
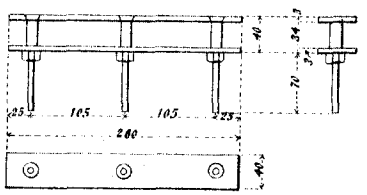


Fig.ª 4.

Herraje para la trincadura



Escala general de 1:5 metros.

Fig.ª 1.
Ponton danés (curvas)

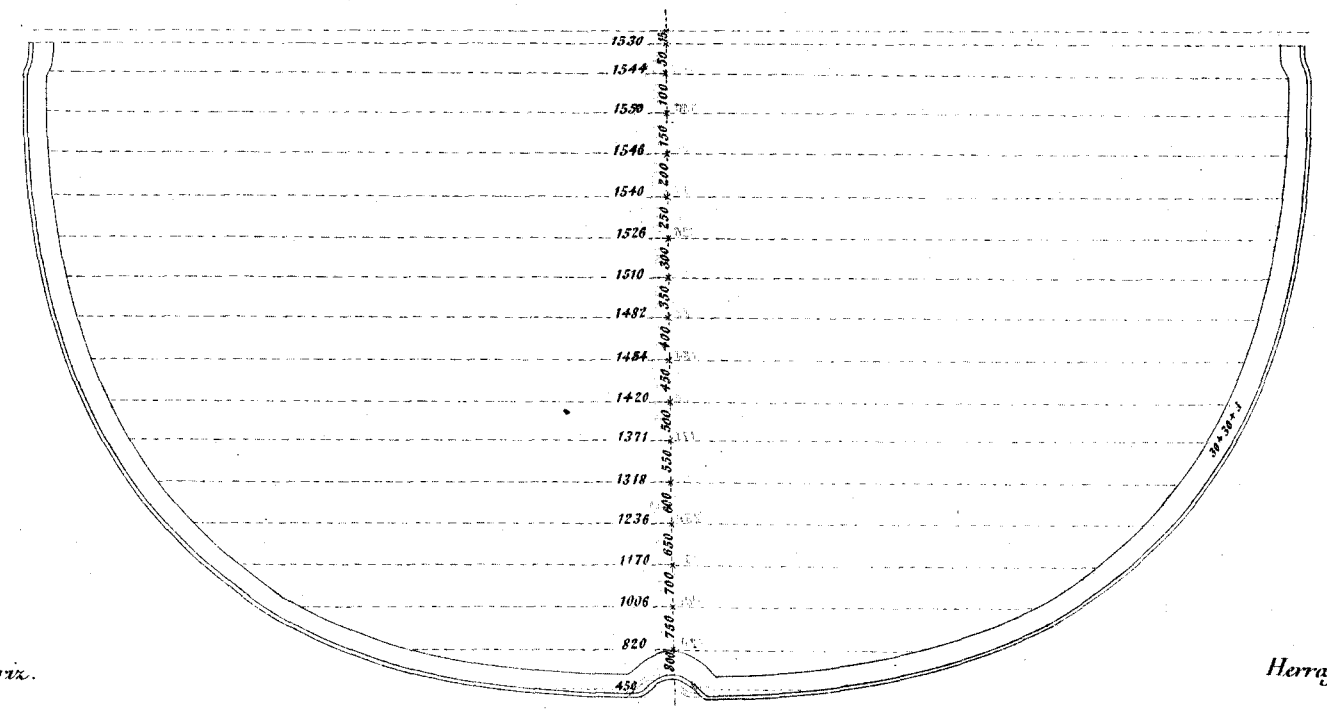


Fig.ª 2.
Herraje de la nariz.

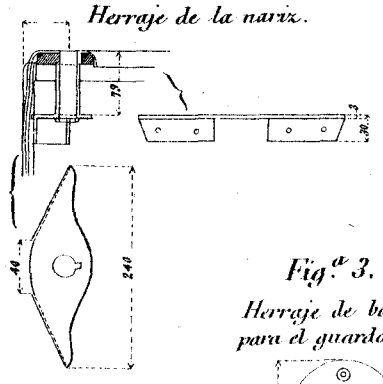


Fig.ª 3.
Herraje de borda para el guardalado.

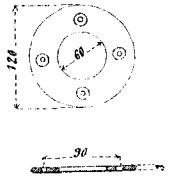


Fig.ª 4.
Talon para el mango del remo de guardalado.

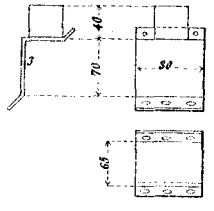


Fig.ª 5.
Chapa de agujero de tolete.

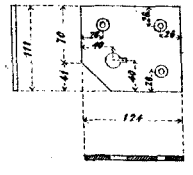


Fig.ª 6.
Herrajes de las zapatas centrales.

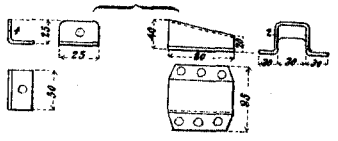


Fig.ª 7.
Chapa de agujero de tolete

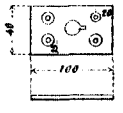


Fig.ª 6.

Ponton danés, curvas extremas.

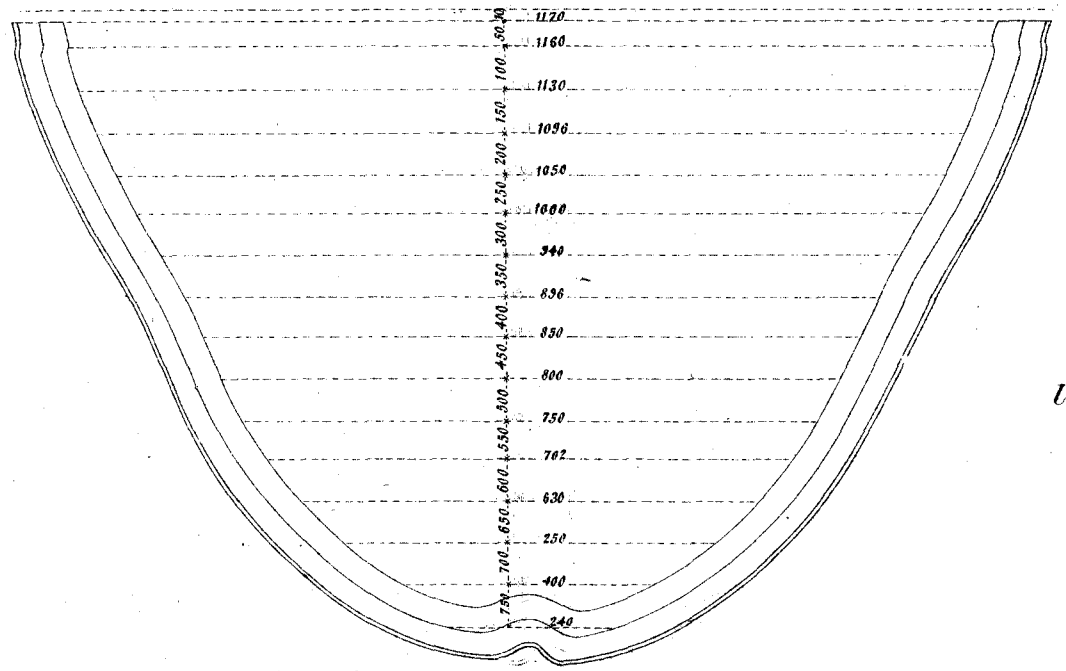


Fig.ª 1.

Corchete de la traversa de anclaje

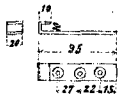


Fig.ª 3.

Traversa de anclaje

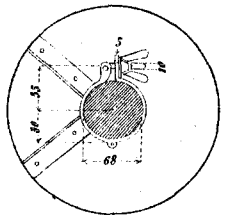


Fig.ª 4.

Abrazadera de la traversa (sujeta al ponton)

Fig.ª 2.

Traversa de anclaje.

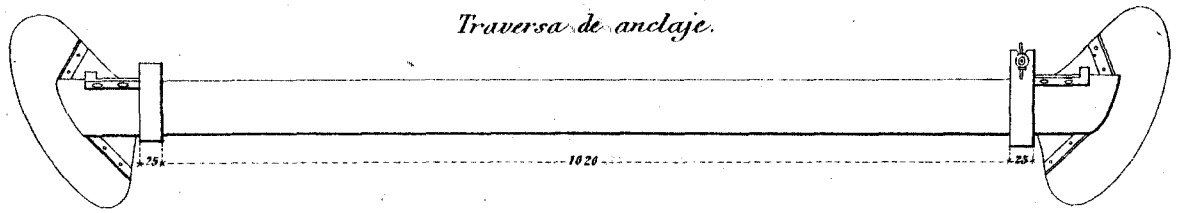
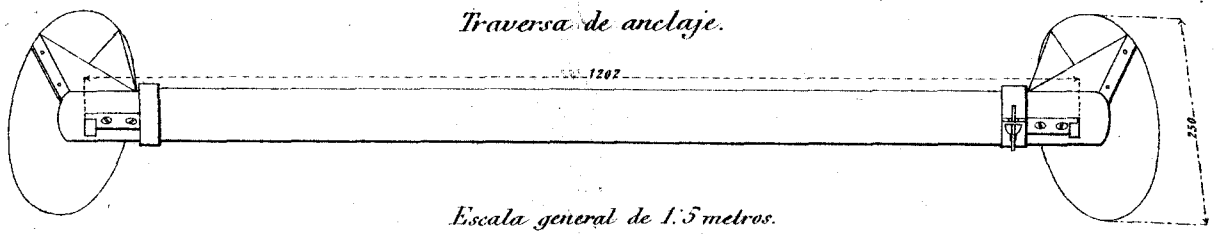


Fig.ª 5.

Traversa de anclaje.



Escala general de 1:5 metros.

Fig.ª 7.

Union de los tabiques en el fondo

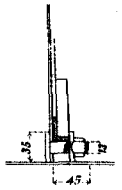


Fig.ª 8.

Herrajes de liston de banda.

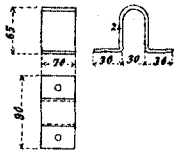


Fig.ª 9.

Union de los tabiques en el fondo.

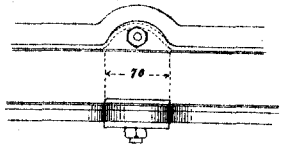


Fig.ª 10.

Herrajes extremos de liston de banda.

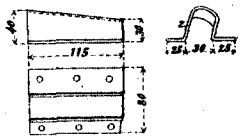
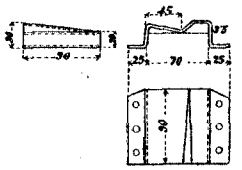


Fig.ª 11.

Herraje de zapatas extremas.



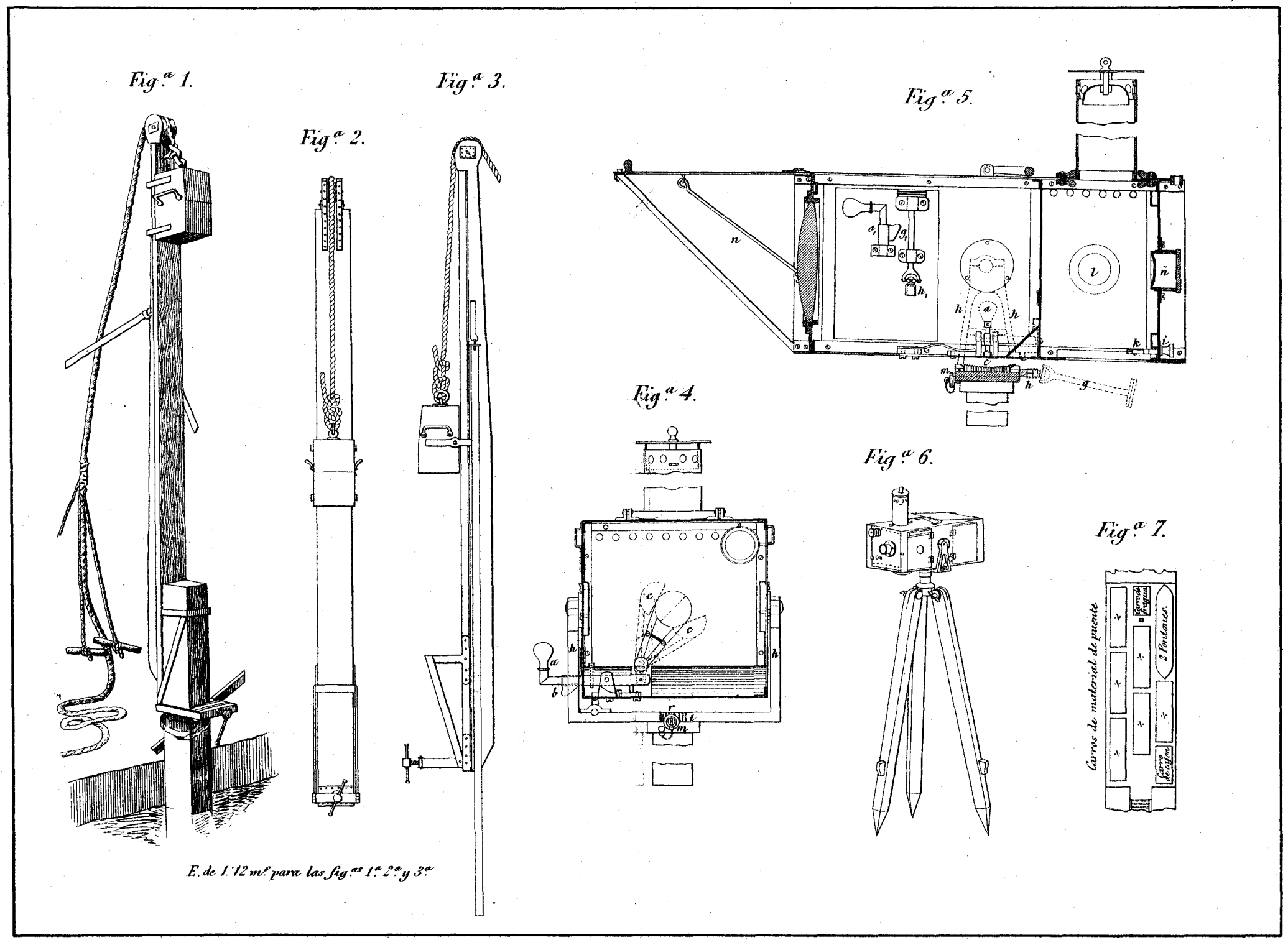


Fig.ª 1.
Fig.ª 2.
Fig.ª 3.
Fig.ª 4.
Fig.ª 5.
Fig.ª 6.
Fig.ª 7.
Carros de material de puente
Barrida Pragua
2 Pontones
Carro de apoyo
E. de 1:12 m.s para las fig.as 1.ª 2.ª y 3.ª

Fig.ª 1.

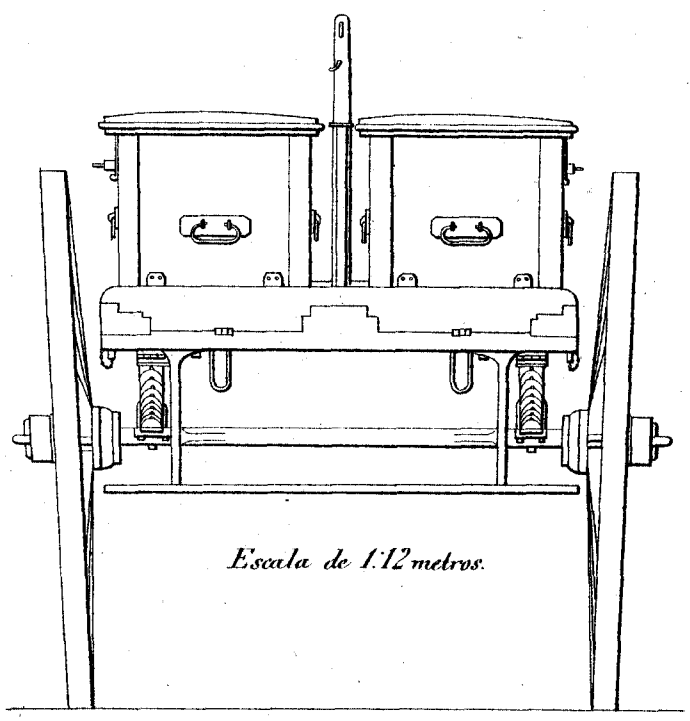


Fig.ª 2.

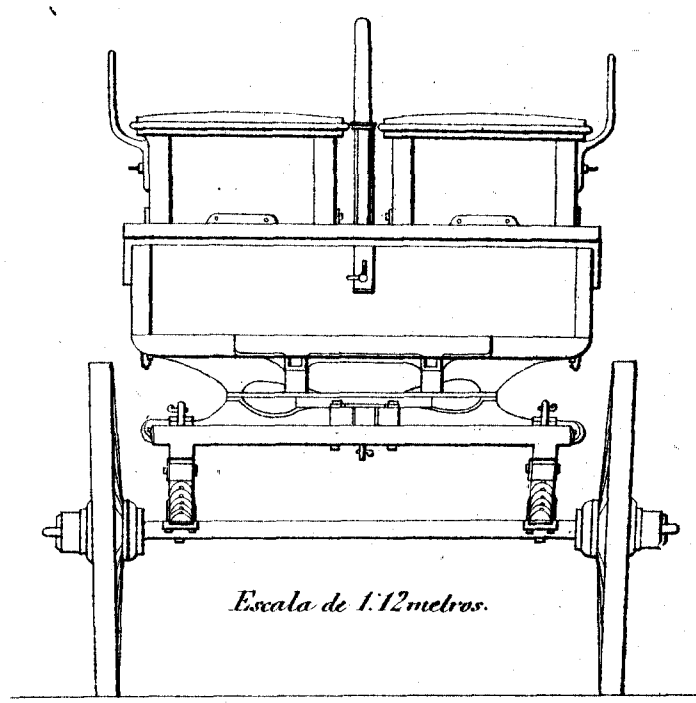


Fig.ª 3.
Carro de material telegráfico.

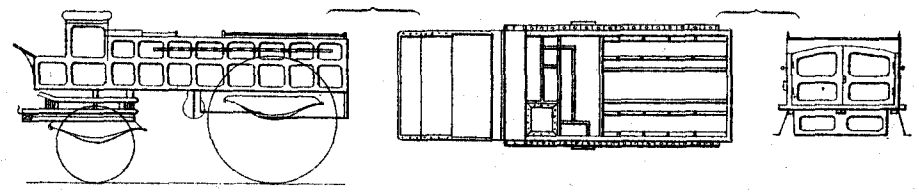
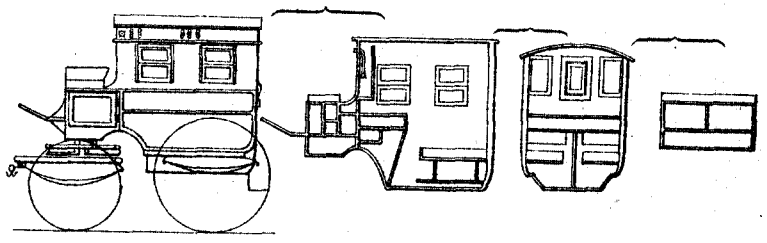


Fig.ª 4.
Carro estacion.



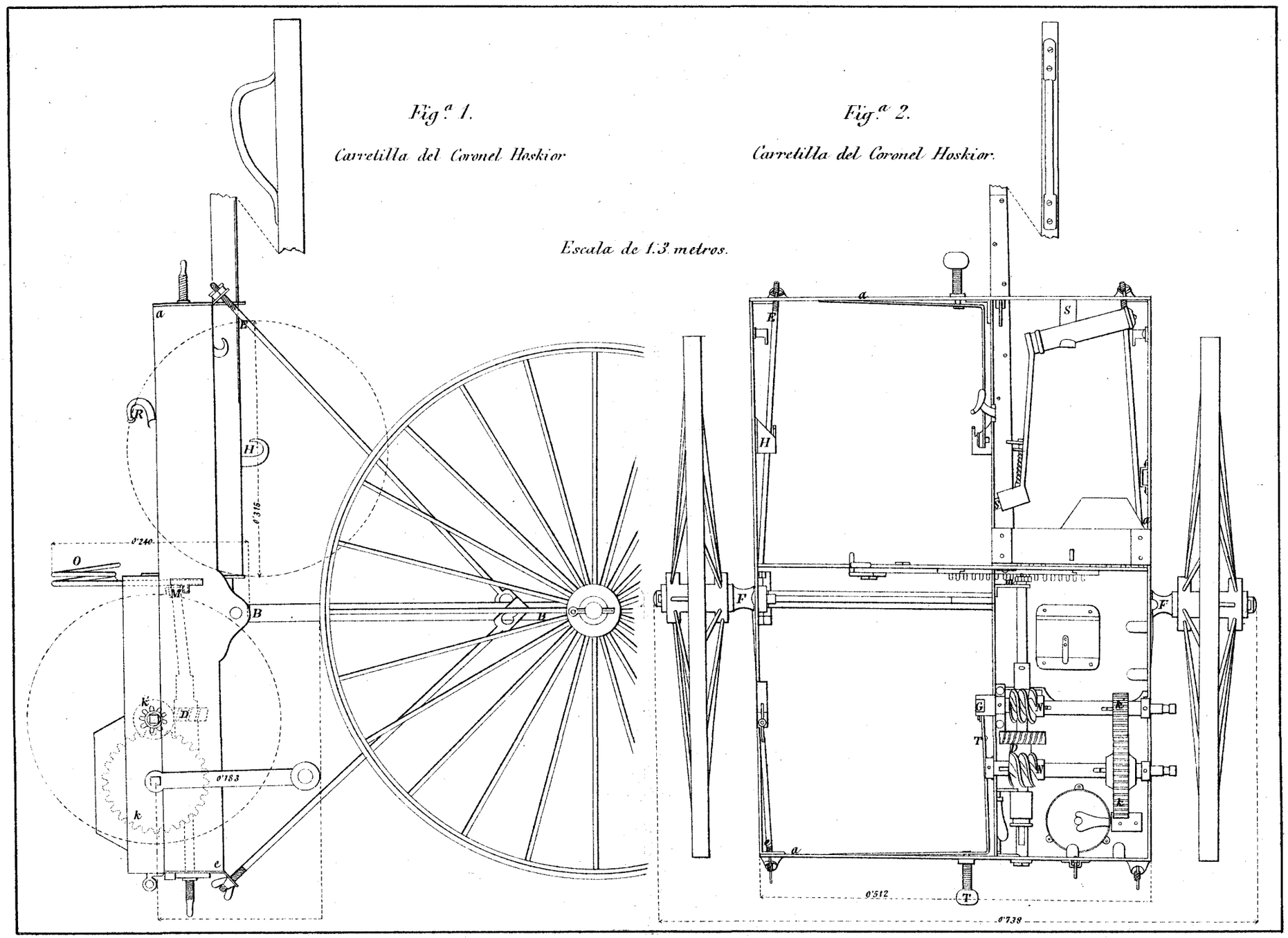


Fig.ª 1.
Carretilla del Coronel Hoskior
Fig.ª 2.
Carretilla del Coronel Hoskior.
Escala de 1:3 metros.
0'240
0'316
0'183
0'512
0'738

Fig.ª 1.

Carretilla del Capitan Rambush

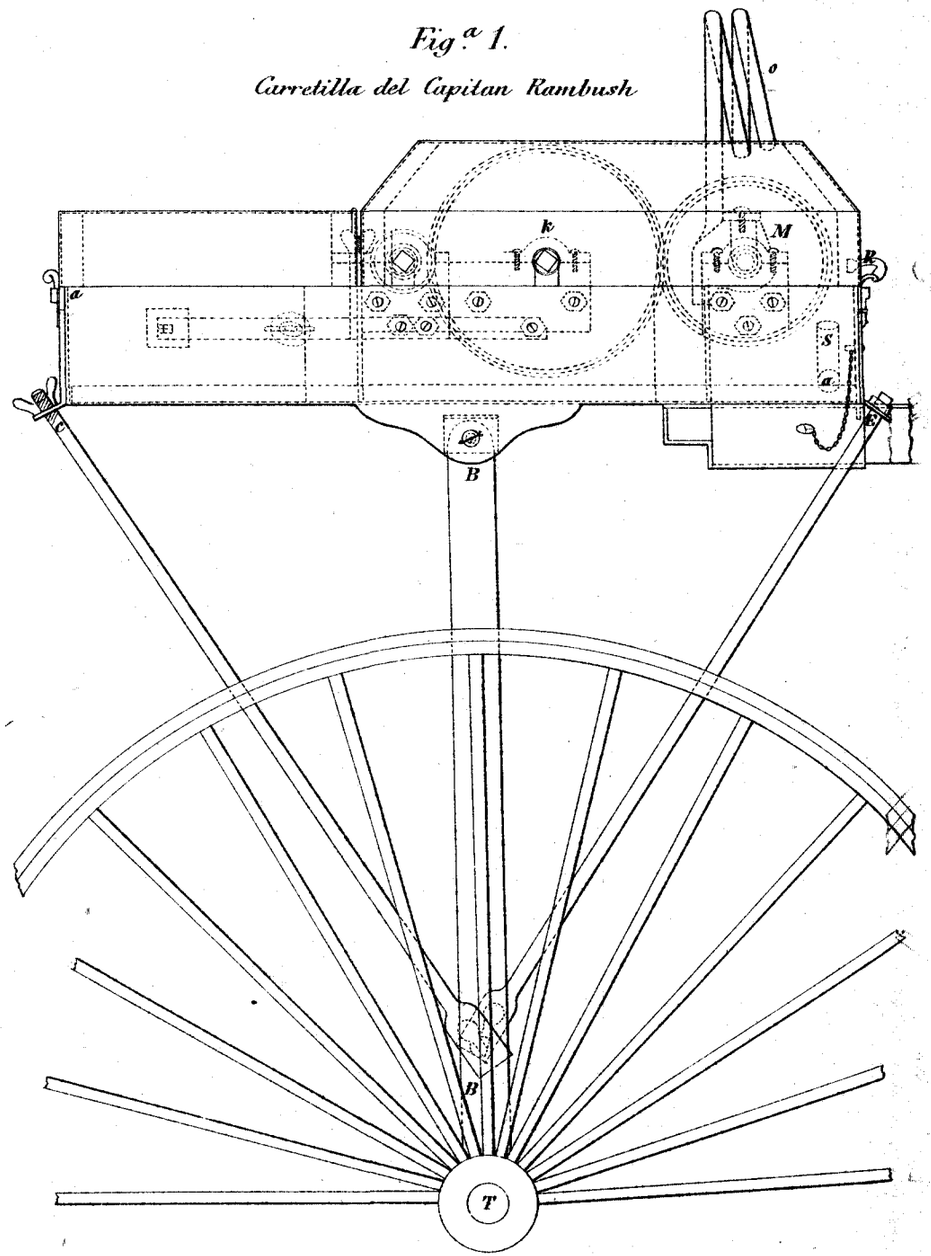
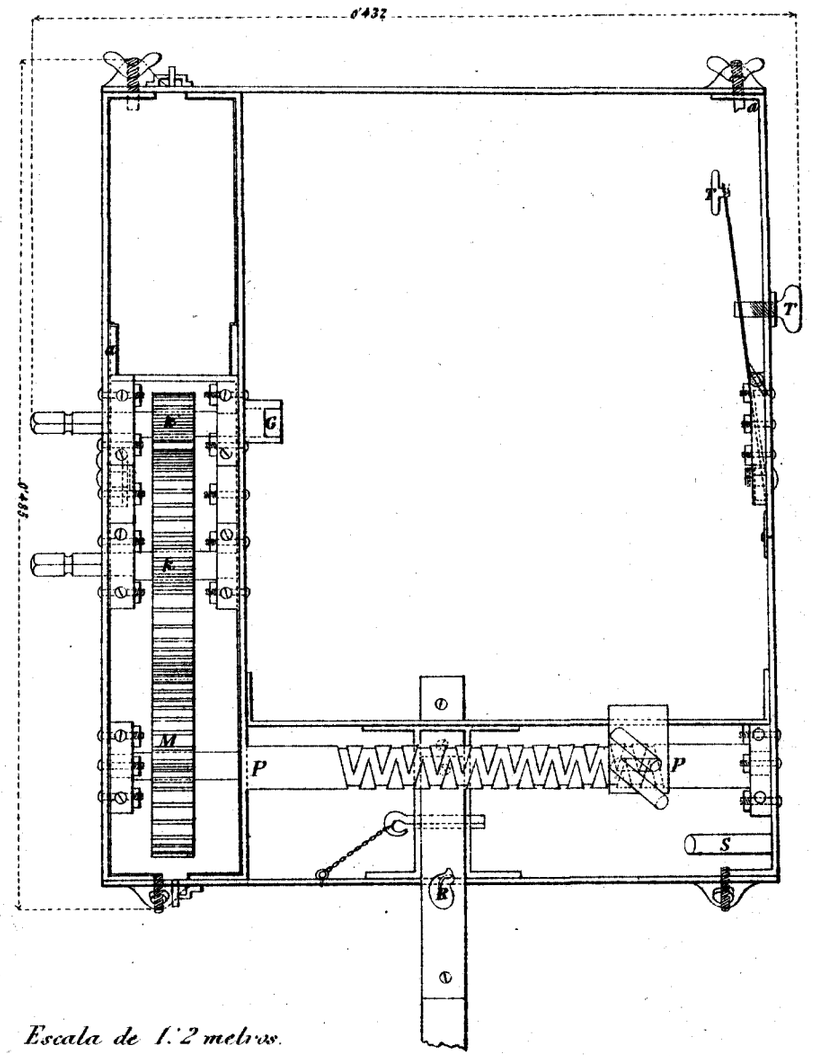


Fig.ª 2.

Carretilla del Capitan Rambush.



Escala de 1:2 metros.

Fig.ª 1.

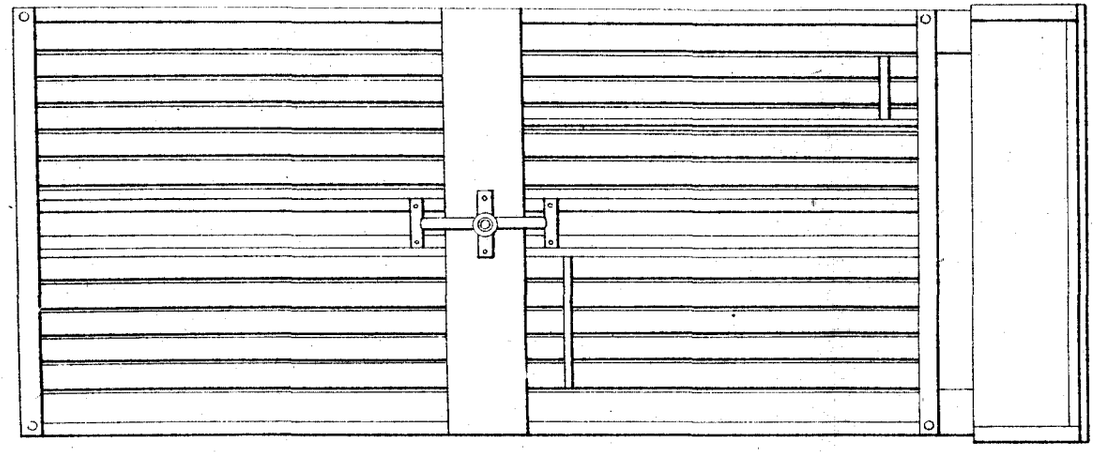


Fig.ª 4.

Carro de telegrafia optica

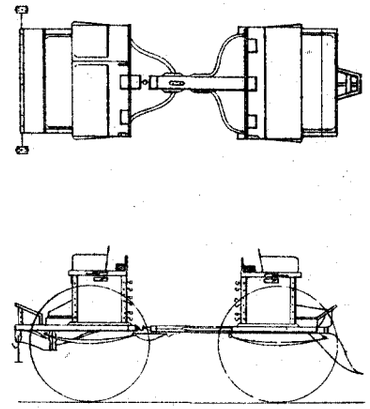


Fig.ª 2.

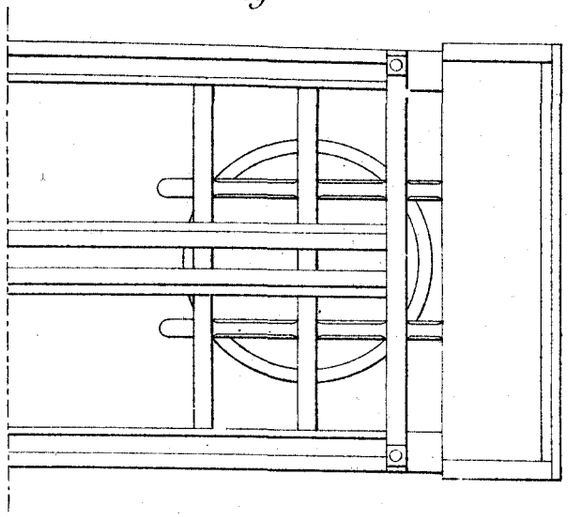


Fig.ª 3.

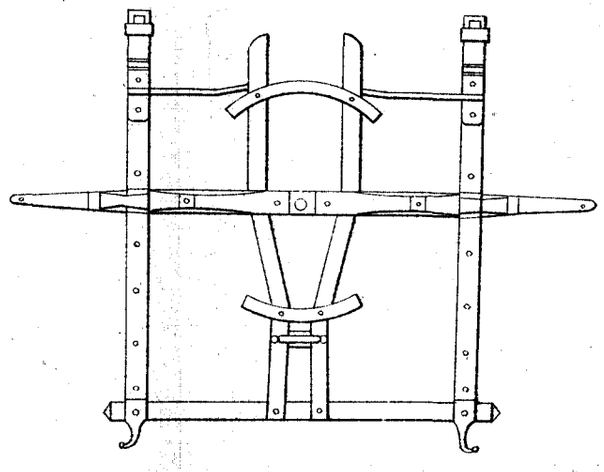
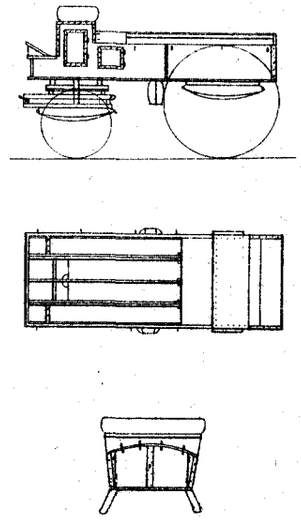


Fig.ª 5.

Carro de telegrafistas de 2.ª linea



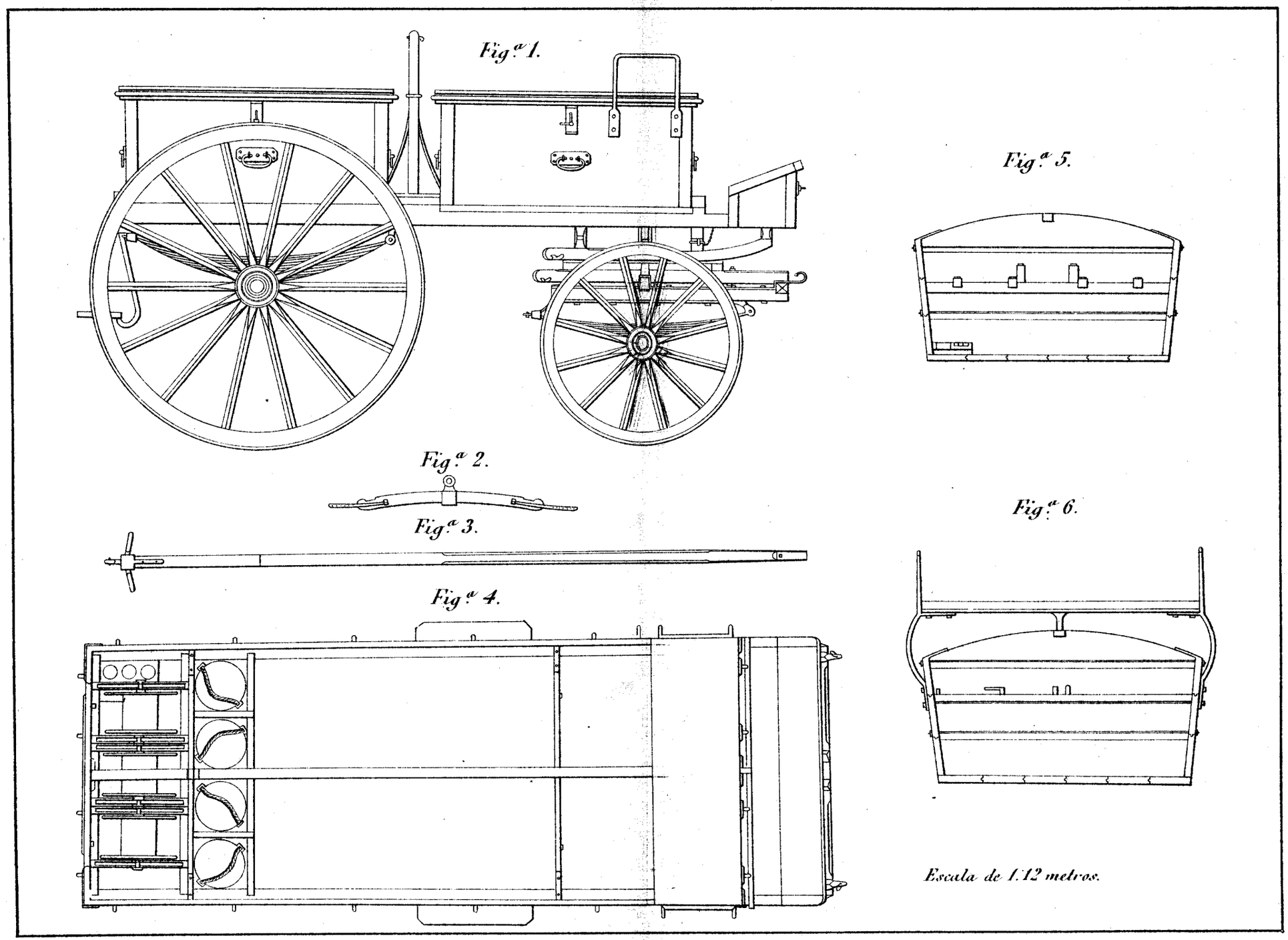


Fig.ª 1.
Fig.ª 2.
Fig.ª 3.
Fig.ª 4.
Fig.ª 5.
Fig.ª 6.
Escala de 1:12 metros.

Fig.ª 1.

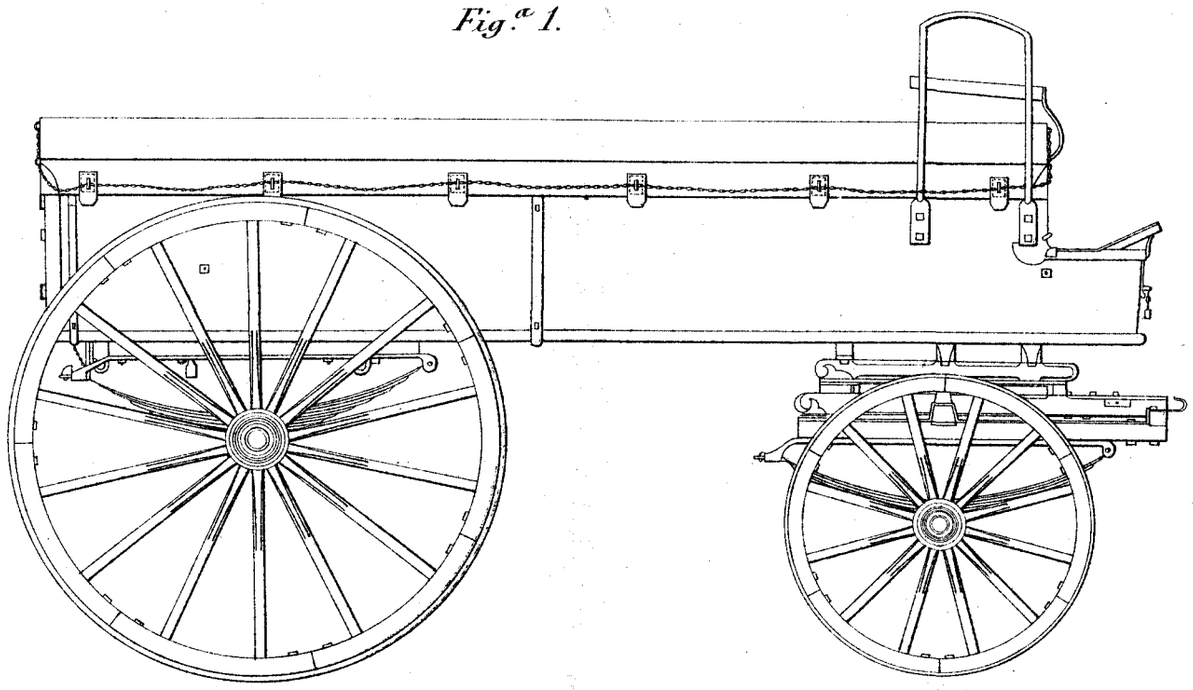
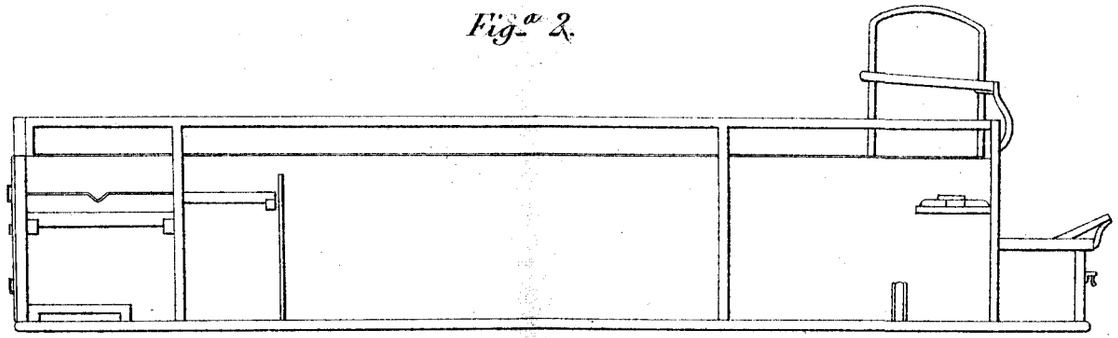


Fig.ª 2.



Escala de 1: 12 metros.

Fig.ª 1.

PLANO DE COPENHAGUE Y SUS INMEDIACIONES

Escala de 1:150.000 metros.

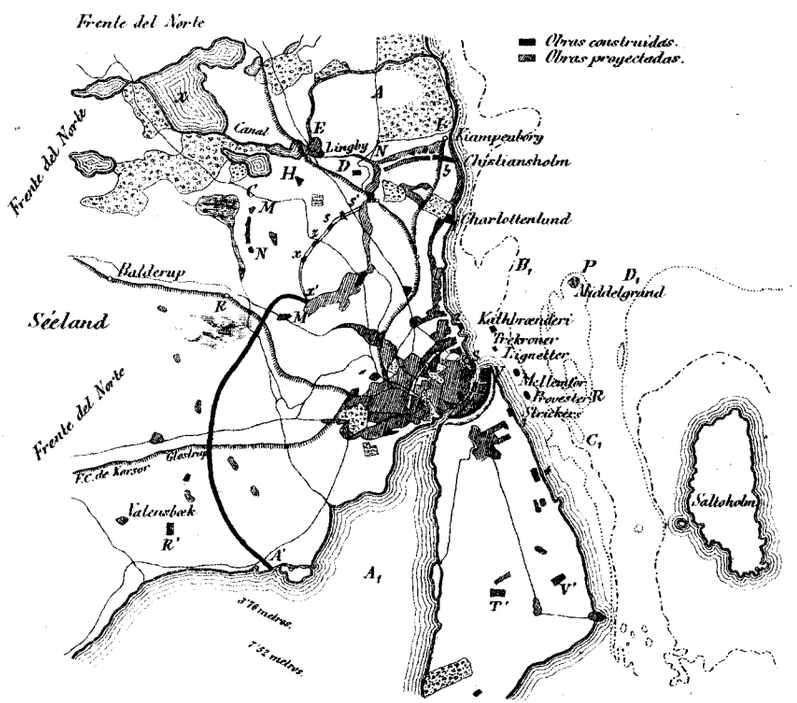


Fig.ª 2.

Fuerte de Middel grund.

Plano

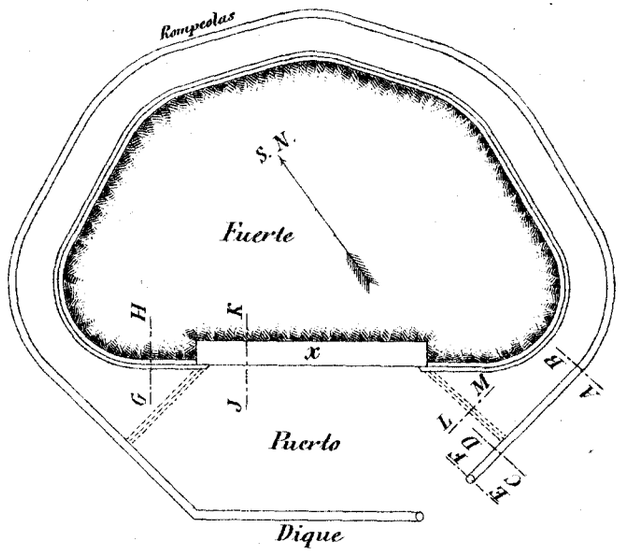


Fig.ª 3.

Corte por A.B.

Cimentaciones del Fuerte de Middel-grund

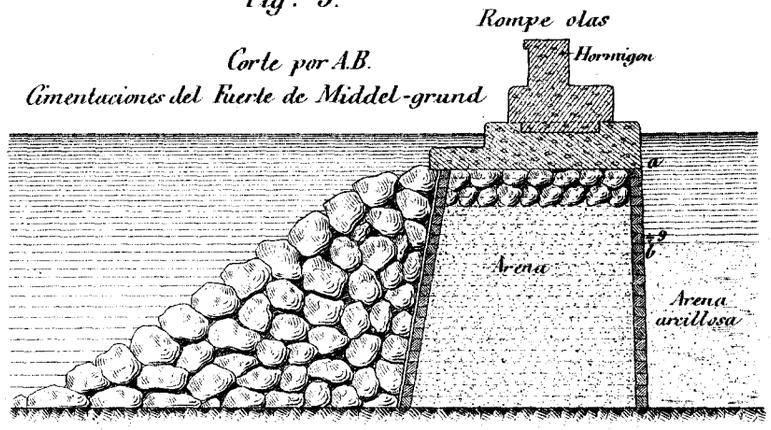


Fig.ª 1.

Corte vertical longitudinal-Almacen de municiones
Fortificacion de Copenhague-Recinto del Oeste.

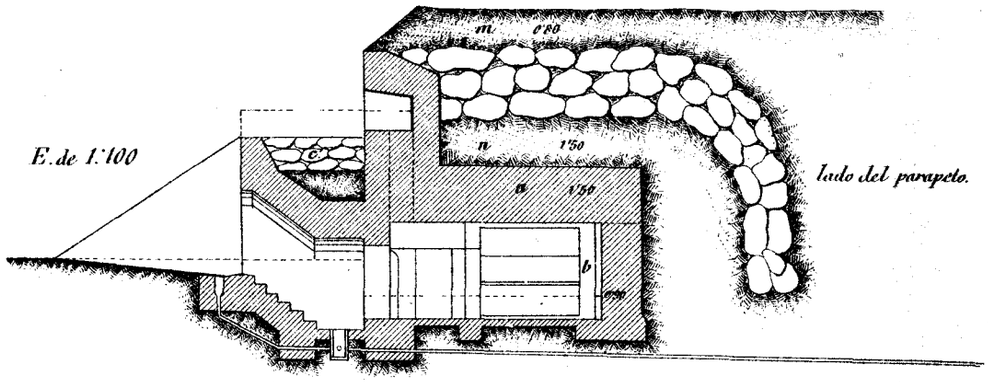


Fig.ª 2.

Corte trasversal
Fortificacion de Copenhague-Caponera acorazada

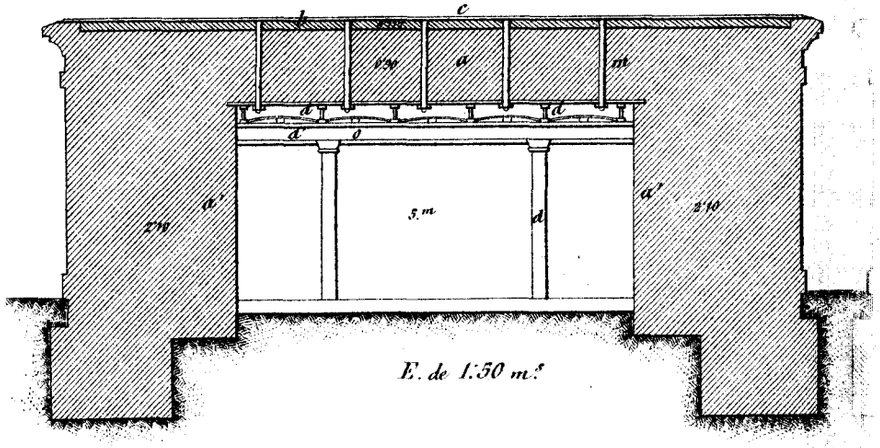
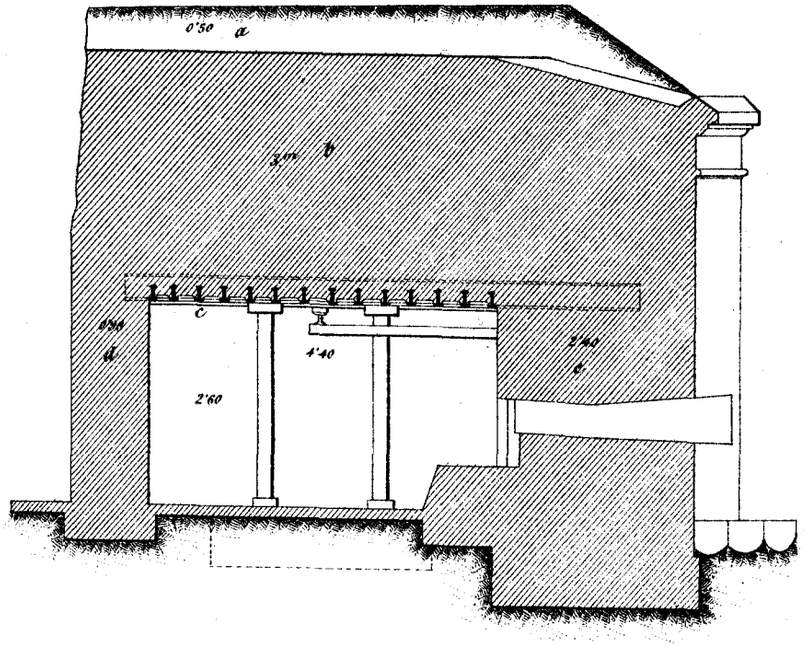


Fig.ª 3.

Corte trasversal
Fortificacion de Copenhague-Recinto del Oeste-Semi-caponera



Escala de 1:50 metros

Fig.ª 1.

Cimentaciones del fuerte de Middelgrund.
Dique. Corte por C.D.

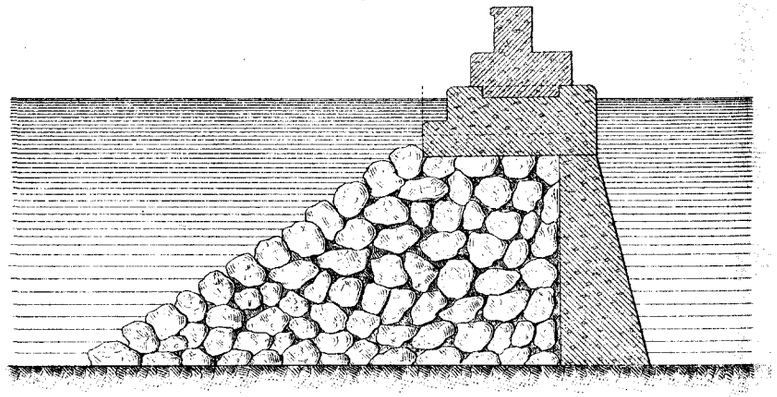


Fig.ª 2.

Cabeza del dique - Corte por E.F.

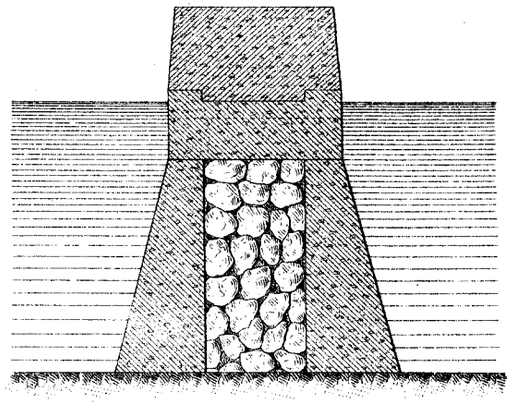


Fig.ª 3.

Pié del talud exterior del parapeto
Corte por G.H.

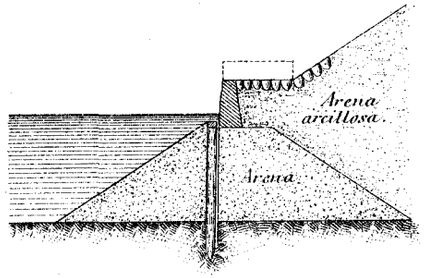


Fig.ª 4.

Muelle - Corte por I.K.

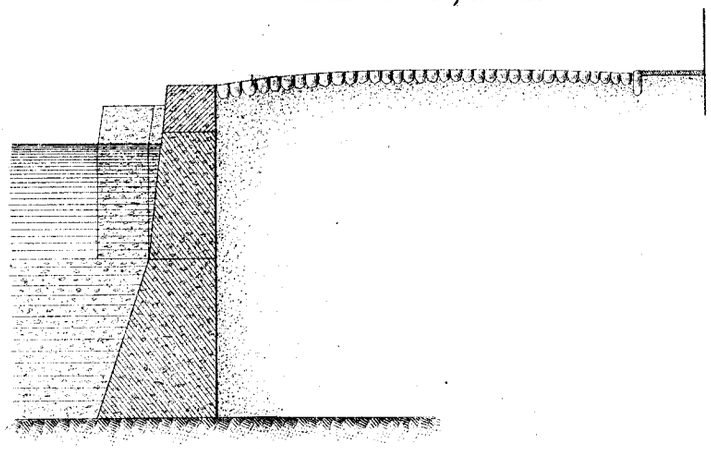
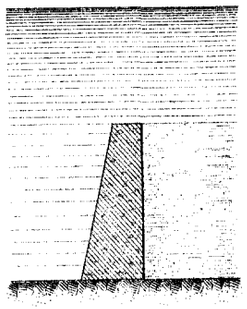
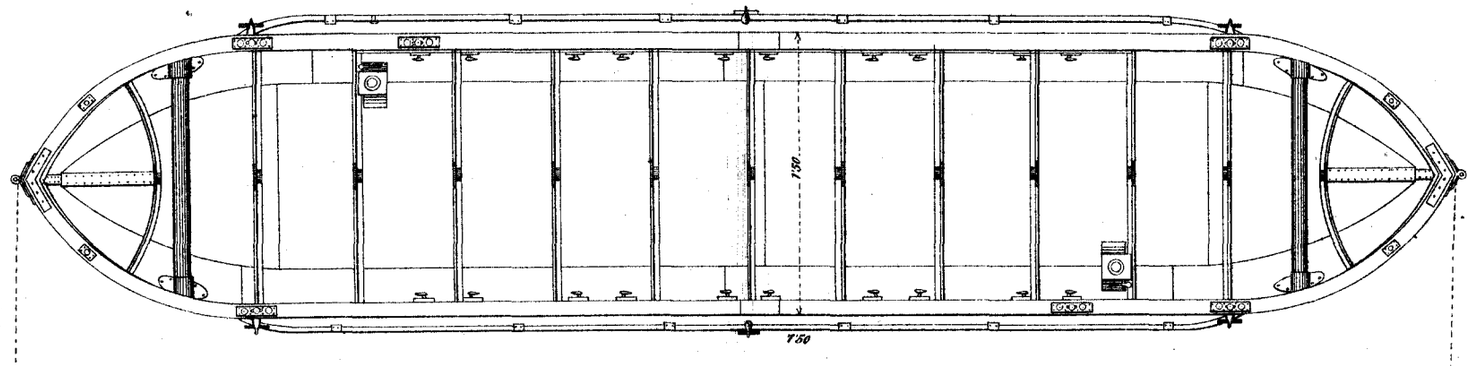


Fig.ª 5.

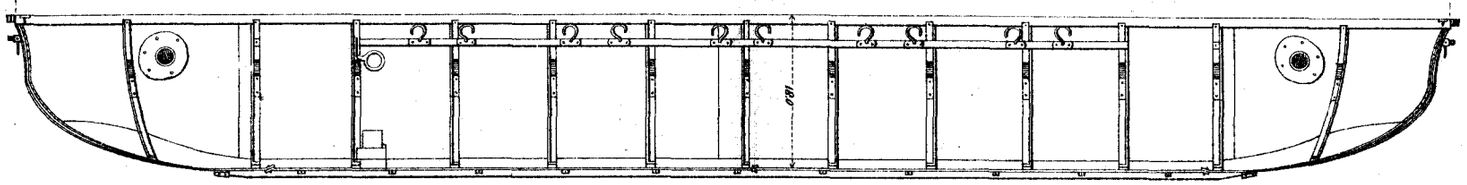
Muelle submarino entre el foso
y el fuerte Corte por L.M.

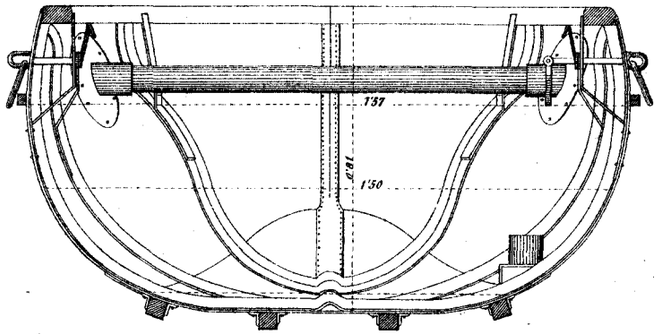


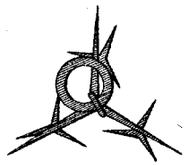
Ponton aleman.

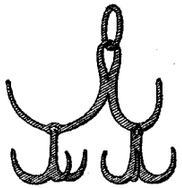


E. de 1:20 m.s









E. de 1:10 m.s

Fig.ª 1.

Carro de ponton – Alemania.

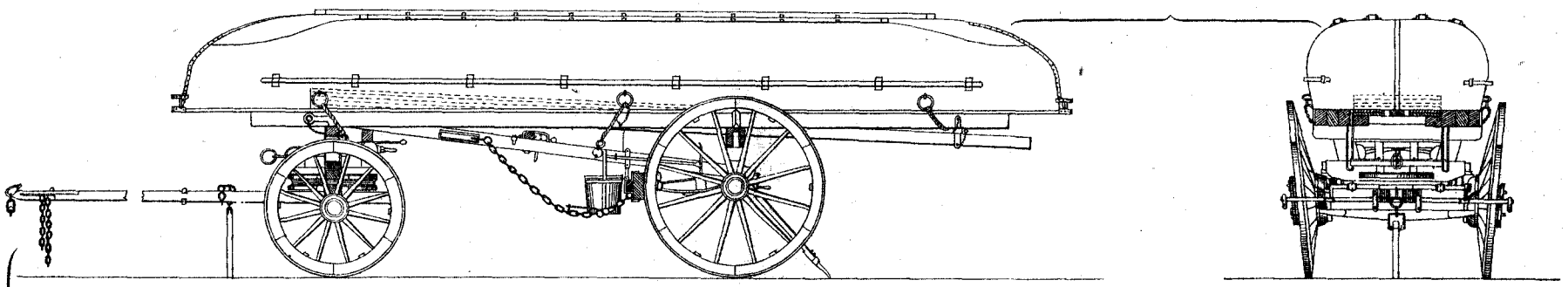
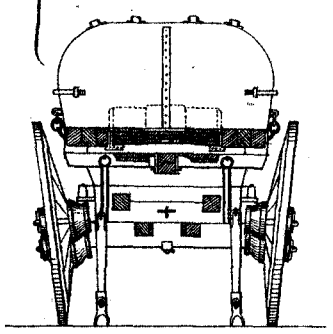


Fig.ª 2.

Utiles de zapador – Carro de cajon – Alemania.



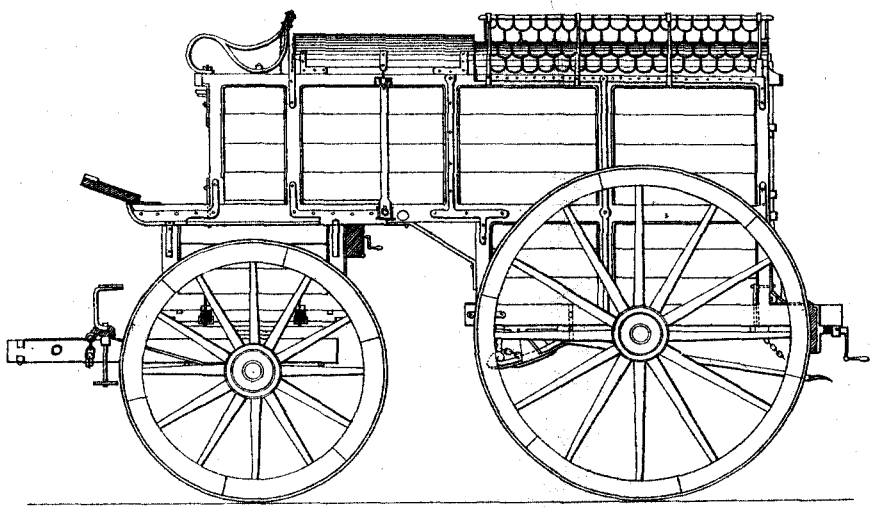
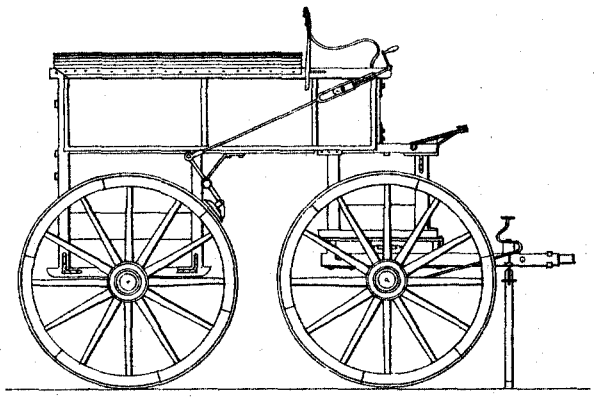


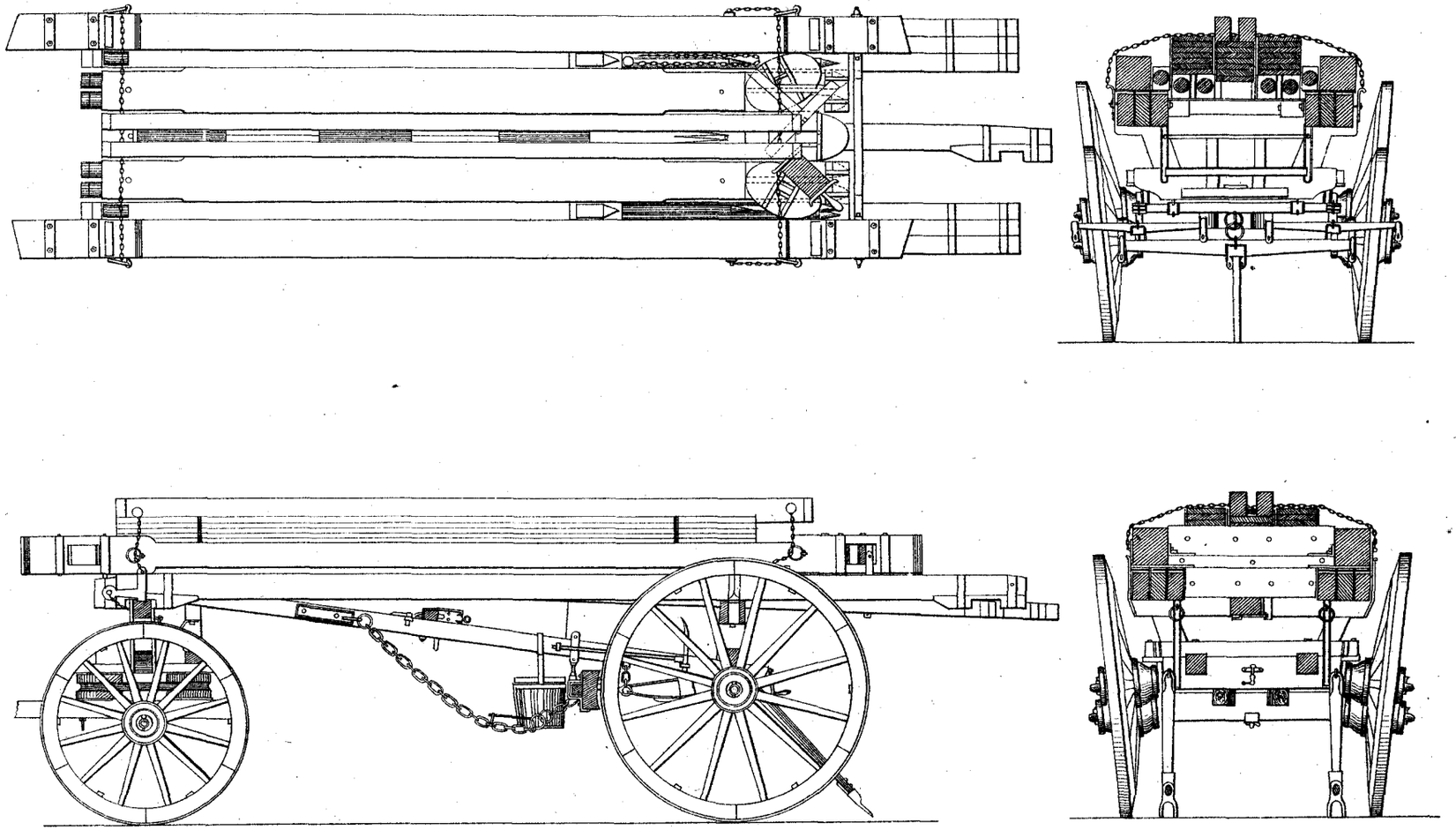
Fig.ª 3.

Carro de compañia – Alemania.



Escala de 1.'24 metros

Carro de caballetes – Alemania.



Escala general de 1:20 m.s

Fig.ª 1

Carro de útiles – Alemania

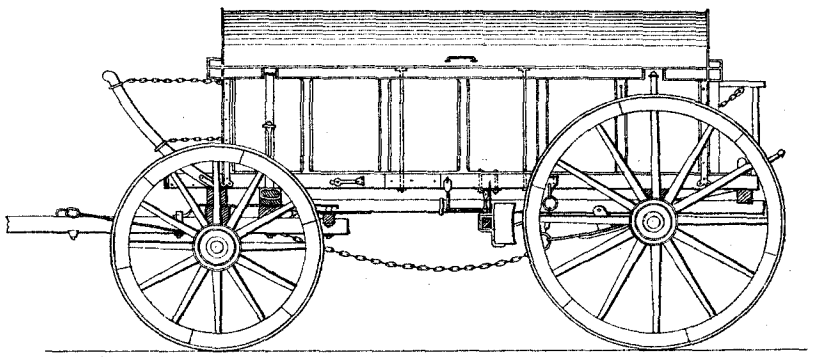
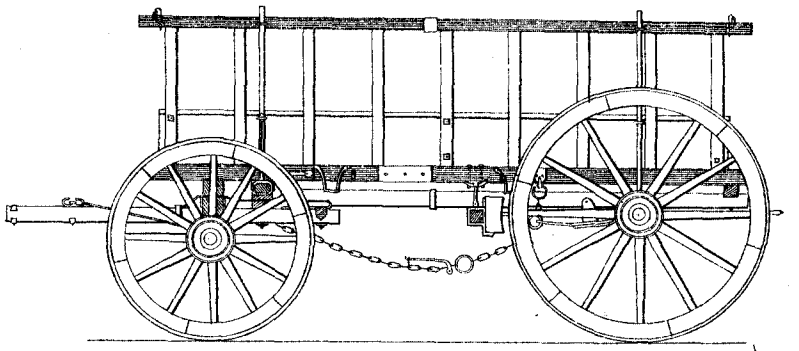


Fig.ª 2

Carro de forrage – Alemania



Escala de 1.24 metros.

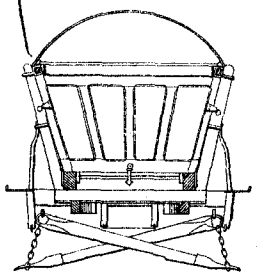
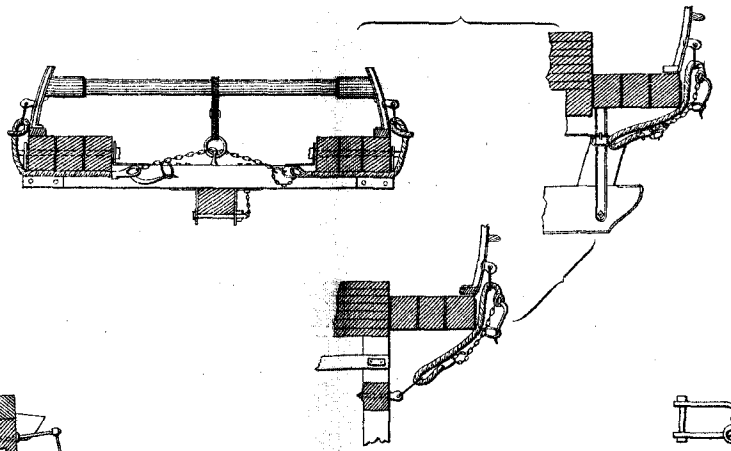


Fig.ª 4



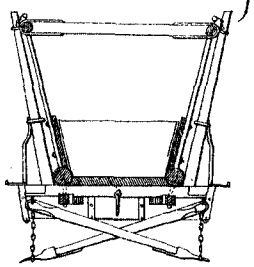


Fig.ª 3

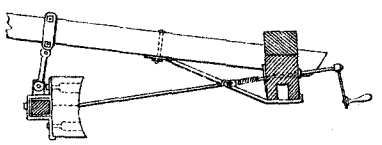


Fig.ª 5

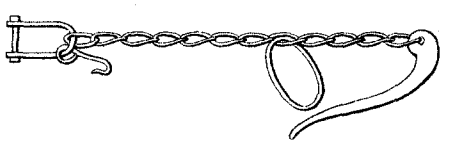


Fig.ª 1

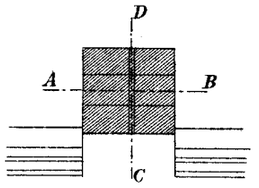


Fig.ª 3

Seccion por C.D de la fig.ª 1.ª

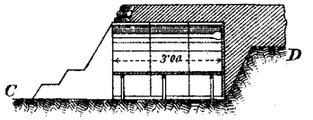


Fig.ª 5

Seccion por A.B de la fig.ª 5

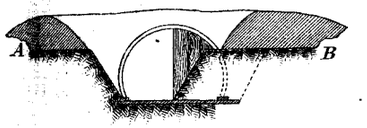


Fig.ª 7

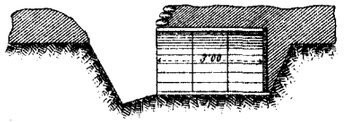


Fig.ª 2

Seccion por A.B de la fig.ª 1.ª

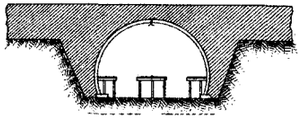


Fig.ª 4

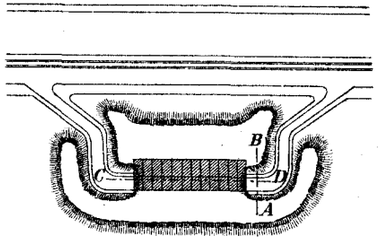


Fig.ª 6

Seccion por C.D. de la fig.ª 4

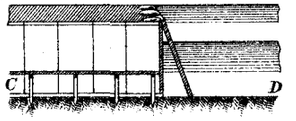


Fig.ª 14

Seccion por A.B de la fig.ª 8

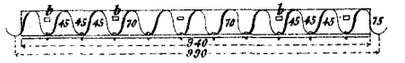


Fig.ª 8

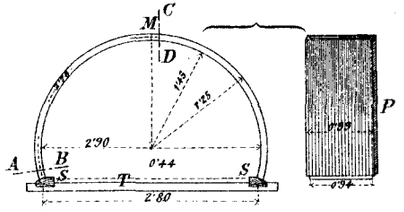


Fig.ª 12

Seccion por C.D de la fig.ª 8

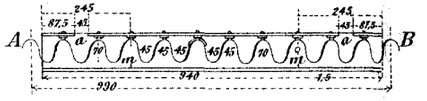


Fig.ª 15

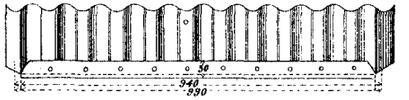


Fig.ª 16

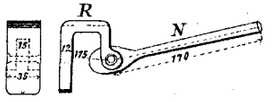


Fig.ª 17

Fig.ª 9

Fig.ª 10

Fig.ª 11

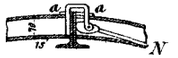


Fig.ª 13

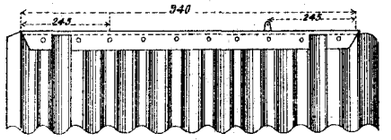


Fig.ª 18

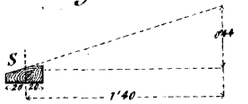


Fig.ª 19

ALEMANIA.

142. Salimos de Dinamarca á bordo del vapor alemán *Auguste Victoria*, que tomamos en Korsör, y volvimos á entrar en Alemania dirigiéndonos directamente á Berlin con objeto de hacer las gestiones necesarias para que á nuestro regreso de Magdeburgo tuviéramos dispuestas las autorizaciones oficiales que nos permitieran visitar los polígonos y establecimientos del Cuerpo de Ingenieros. **Primeras impresiones.**

Entramos en Berlin el 16 de Septiembre y en el mismo día nos presentamos en la Embajada de España, con el fin expuesto. Las noticias que allí se nos facilitaron no podían ser más desanimadoras. El secretario, Sr. Larios, nos manifestó que el secreto que en este país se guardaba en todo lo referente á la milicia era tan absoluto, que serían inútiles cuantas gestiones practicáramos; que las autorizaciones que por la Embajada se habían solicitado habían sido negadas, citándonos, entre otros, al Vizconde del Peñón, á quien no se permitió visitar la pirotecnia de Spandau; que á lo sumo podríamos ver algún cuartel, si el agregado militar, entónces ausente con motivo de las maniobras militares de otoño, podía á su regreso conseguir el permiso.

No obstante estas noticias nos propusimos no perdonar medio ni diligencia para aprovechar el breve tiempo que habíamos de permanecer en Alemania.

El día 19, por la mañana, emprendimos el viaje á Magdeburgo para asistir á las experiencias del Grusonwerk, objeto principal de nuestra expedición. De estas experiencias, que terminaron el día 27, y á las que

asistió con nosotros el Comandante La Llave, que se nos incorporó en Magdeburgo, hemos dado cuenta en otra memoria, como se disponía en la Real orden de 6 de Agosto último.

El 28 de Septiembre estábamos de regreso en Berlin.

Gestiones. *143.* Pronto tuvimos ocasión de ver que de poco ó nada habían de servirnos las nuevas amistades creadas en Magdeburgo durante las experiencias. Las órdenes más severas sellan los labios de los oficiales y en todas partes creen ver espías, de cuyas observaciones puede depender en su día la victoria.

Nosotros no podíamos permanecer inactivos, y con mayor razón cuando nuestra estancia, ya breve en este país, debía hacerse rapidísima por haber recibido la orden de asistir á las experiencias del Creusot, que se anunciaban para principios del mes de Octubre (*).

El agregado militar á la Embajada, Comandante de Artillería don Francisco Ferrer, nos ayudó con su celo y buena voluntad en nuestras diligencias, acompañándonos al ministerio de la Guerra, donde expusimos nuestros deseos de visitar los cuarteles y polígonos de un regimiento de Zapadores y otro de Ferrocarriles. Al enterarse de que sólo habíamos de estar en Alemania muy contados días, desapareció su recelo, manifestándonos que muy en breve recibiríamos la contestación en nuestro alojamiento. Efectivamente, dos días después se nos presentó un oficial del Estado Mayor preguntándonos qué días y á qué horas queríamos visitar los polígonos, á fin de dar las órdenes para que se nos permitiera la entrada y se nos acompañase.

El mismo Comandante Ferrer se sorprendió de la prontitud, sin precedente en los años en que él presta sus servicios como agregado militar en Berlin, con que habíamos sido complacidos.

En cambio nos fué de todo punto imposible obtener en el ministerio otros datos, por los que teníamos gran interés. Se nos dijo que por escrito formulásemos las preguntas que tuviéramos por conveniente y que en la misma forma se nos contestaría. Transcurridos muchos días y cuando estábamos de regreso en Francia, recibimos, por conducto del

(*) Nuestras primeras noticias fueron que estas experiencias empezaban al día 2. Al telegrama que dirigimos al Creusot, preguntando la fecha precisa, se nos contestó que el 10, y cuando apresuradamente llegamos á Paris se nos participó su aplazamiento hasta el día 22.

Comandante Ferrer la contestación, tan lacónica y evasiva que nada contenía de particular.

144. Más reservados todavía que los franceses en lo relativo á los asuntos de la profesión, los oficiales alemanes nos recibieron, sin embargo, con mayor cordialidad. Comisiones compuestas de un jefe y varios oficiales nos esperaban á la puerta de los cuarteles y procuraban pagarnos en obsequios y agasajos lo que se nos escatimaba en noticias. Pudimos, sin embargo, sacar partido de su amabilidad para conseguir más datos de los que seguramente estaban dispuestos á facilitarnos. Tanto los oficiales como la tropa tienen sus conocimientos limitados á lo que prescriben los reglamentos en la parte que á cada uno corresponde, careciendo por consiguiente de iniciativa, circunstancia nada favorable para oficiales de Ingenieros que han de encontrarse á cada paso en campaña en ocasiones de tener que dar solución á problemas no previstos en los reglamentos, por completos que éstos sean (y los de Ingenieros de este país no lo son mucho). Acogida.

FERROVIARIOS.

145. El 5 de Octubre, á las nueve de la mañana, fuimos á visitar el cuartel del primer regimiento de Zapadores de ferrocarriles, acompañados del agregado militar, Comandante de Artillería, D. Francisco Ferrer. Cuartel.

En la puerta del cuartel nos aguardaban el Teniente coronel Schill, Ayudantes Meurin y Gerhard y Teniente Jocpffer, que nos recibieron con esquisita cortesía.

Hasta hace poco había en Prusia un solo regimiento de Ferrocarriles, de cuatro batallones. Con él han formado dos, de á dos batallones, con la idea de aumentar el número de estos últimos hasta cuatro, pues consideran, dado lo extenso de la red ferroviaria del territorio alemán, que son necesarios, por lo ménos, ocho batallones. Cada uno de los regimientos está mandado por un Coronel y los dos lo están por un General.

El cuartel del 1.er regimiento de Zapadores de caminos de hierro está situado al sur de Berlin, entre el ferrocarril de Berlin-Postdan-

Magdeburgo, y el ferrocarril militar que vá al polígono de Cummersdorff, y cuya estación se halla en las cercanías del cuartel citado.

En las inmediaciones se encuentra el gran campo de ejercicios de la guarnición de Berlin, y un pequeño polígono de batallones de Zapadores.

El cuartel se compone de dos grandes edificios, uno para cada batallón; el primero de planta en U, y el segundo de una sola crujía. En Berlin y sus inmediaciones la piedra escasea, de modo que sólo se emplea en edificios monumentales, y se hace uso en la casi totalidad de las construcciones, del ladrillo, ya ordinario, cuando vá guarnecido con mortero de cemento, formando almohadillados, plintos, jambas y otros motivos de decoración, muy abultados y de pésimo gusto en general, ya prensado, al descubierto, obra en la que se encuentran fachadas de mucho mérito.

El cuartel del 2.° de Ferroviarios, es de ladrillo al descubierto en las fachadas, los suelos de madera, así como la armadura, de forma quebrantada, en un todo igual á las empleadas en Dinamarca y descriptas al tratar del cuartel de Artillería de Copenhague.

Los edificios tienen: sótano, entresuelo, piso principal y segundo y cámaras. Las crujías, que son sencillas, tienen un largo corredor, que es el que dá acceso á todas las habitaciones.

En el sótano están instalados el comedor y cocina de los sub-oficiales, comedor de tropa, cocinas y cantina para soldados. Tuvimos ocasión de ver la comida del soldado. Café á las ocho de la mañana y un solo rancho á las doce, compuesto de una ración de carne y una taza de caldo. Al soldado se le entrega en mano 5 pfennings (unos 7 céntimos). Inútil es decir que el pan que come nuestro soldado es incomparablemente mejor que el que se dá al soldado alemán, á juzgar por lo que vimos.

En el piso entresuelo están:

Las oficinas.

Un pequeño casino de oficiales, compuesto de un gran comedor, otro más pequeño, una sala de recepción, salón de lectura, y biblioteca, por cierto muy completa.

Entre las numerosas publicaciones científicas y militares á que se

hallan suscriptos, vimos las francesas técnicas, *Le Génie civil* y la *Révue générale des chemins de fér*, que son, como es sabido, de las mejores en su clase.

Dormitorios de tropa. Están dispuestos como en el cuartel de Copenhague. Son pequeñas habitaciones, cada una para doce hombres, que tienen una puerta al pasillo general, y una ventana á la fachada. Las camas son de dos pisos como las literas de los barcos y en cada una de ellas duerme un soldado. Son de hierro y tienen tres tablas, gergón y cabezal y una delgada colchoneta, como abrigo. Enfrente de las camas están los armarios, de pino pintado, en donde se guardan el vestuario, correaje y equipo. No vimos disposición alguna para la ventilación, y eso que el volúmen de aire por soldado resulta bien escaso.

Al lado de los dormitorios de cada compañía está una habitación destinada á almacén de prendas de la misma.

En el piso principal se encuentra el pabellón del ayudante, oficinas del comandante y dormitorios de tropa.

En las cámaras están situados los talleres de sastrería y el almacén del regimiento.

Los pavimentos del sótano y entresuelo son de asfalto, y los de los demás pisos de madera. Las escaleras, también de madera, son estrechas.

Las cuadras para caballos de jefes y ayudantes, y otros accesorios, están situados en el piso bajo.

Hay un edificio independiente con destino á sala de ejercicios, para invierno, y dos pequeños gimnasios en los extremos.

Por la ligera descripción que hemos hecho del cuartel, podrá deducirse que no ofrece novedad alguna, por ningún concepto, ni hay nada que pueda servir de enseñanza á nuestros oficiales. Es un edificio de varios pisos, en mediano estado de conservación y de limpieza, y sin que hayamos visto en él realizados los preceptos de la higiene. No solamente no está aplicado el principio de la diseminación, sino que se ha abusado del número de pisos, del de pequeñas habitaciones, separadas por numerosos tabiques, que son verdaderas esponjas absorbentes de materias infecciosas. Cualquiera de los cuarteles modernos construidos en España es, por todos conceptos, superior al que dejamos descripto.

Lo que verdaderamente sorprende es la abundancia en los almacenes

de compañía y de regimiento. Las prendas y equipos se cuentan por centenares.

Nos dijeron que la ocasión en que hacíamos nuestra visita era la ménos á propósito para ver trabajar el regimiento, á causa de la escasez de personal, y así era en efecto, pues habían licenciado á fines de Septiembre un contingente, estaban recibiendo á los voluntarios de un año, y esperaban á los reclutas en el mes de Noviembre, de modo que se encontraba en el período de preparación para vestir, equipar é instruir á estos últimos.

Prácticas. *146.* El 1.er regimiento de Zapadores ferroviarios explota la pequeña línea de Berlin-Zossen, que hace el servicio del polígono de Cummersdoff (de artillería). No solamente se dedican las tropas á los diversos servicios de la explotación, sino que también, en determinadas ocasiones,se adiestran en la construcción, rápida, de ramales de vía férrea, de alguna extensión, en trabajos de destrucción, y en la reconstrucción de puentes y obras de arte, por medio de puentes y estacadas de madera.

No pudimos ver trabajar á la tropa en estas obras, por las causas que en otro lugar exponemos, pero sí podemos decir que la herramienta y aparatos que emplean son los generalmente conocidos y utilizados en las secciones de vía y obras civiles, sin que, en este punto, encontrásemos nada digno de llamar la atención.

Rampas. *147.* Las rampas, para el embarque de ganado, artillería y carruajes, que tuvimos ocasión de ver, son de dos clases, unas fijas y otras desmontables y portátiles.

En las primeras, el pavimento, de $7^m,5$ de longitud y 10 metros de anchura, está formado de gruesos tablones, yustapuestos horizontalmente. Hacen de viguetas carriles Vignole, colocados de modo que la zapata quede hácia arriba. Estos carriles están apareados, y la distancia entre cada dos pares contiguos es de $2^m,50$. Se apoyan, en su extremo inferior, sobre un durmiente de madera, anclado al terreno por medio de piquetes; y en su extremidad anterior sobre traviesas de madera, introducidas en el terreno $1^m,60$. Las dos traviesas correspondientes á cada pareja de carriles están yustapuestas, unidas por medio de grapas, y llevan en la testa superior unos rebajos en los que penetra la cabeza del carril.

La altura de la rampa, en su extremidad anterior, es de $1^m,20$, sobre el plano de rasante de los carriles de la vía, y su distancia al eje de ésta es de $1^m,65$. Para disminuir la longitud, entre apoyos, de los carriles de la rampa, que hacen de viguetas, y hacer menor la flecha elástica, se coloca á mitad de distancia un apoyo intermedio formado con traviesas ó maderos superpuestos.

Las rampas desmontables constan de cinco viguetas de madera de una pieza, las cuales se apoyan sobre un durmiente en su extremo inferior y sobre el borde de la plataforma ó piso del vagón. Sobre estas viguetas se coloca el pavimento, formado de tableros rectangulares de madera, de $2^m,25$ de longitud y $0^m,70$ de ancho. Cada tablero lleva en la cara superior dos listones, paralelos á los lados mayores, cerca de los bordes, pero de menor longitud que la de aquellos. Para dar mayor resistencia á la rampa se forma con los mismos tableros un caballete intermedio, y en esto consiste, precisamente, la novedad del sistema. A este efecto se coloca sobre el suelo, horizontalmente, uno de los tableros, calzado con los durmientes que se crea necesarios, y encima de él, verticalmente, otro, manteniendo invariable la posición del primero, ligándolo al segundo por medio de grapas y de cuñas colocadas entre los listones del tablero base.

Resulta de esta disposición una gran sencillez de material, pues que no hay más piezas diferentes que las viguetas, los tableros, un pequeño número de piezas cuadradas que hacen de durmientes y cuñas, piquetes y grapas: las viguetas de pavimento no pueden ser articuladas, porque el caballete formado por los tableros puede ocupar posiciones diversas según las irregularidades del terreno próximo á la vía, el cual siempre habrá que explanar un poco para que el tablero base asiente bien.

Pueden yustaponerse dos rampas, y formar así una rampa única de $4^m,50$ de ancho.

Esta rampa presenta, sin embargo, un inconveniente, y es el de que hay que levantar el pavimento y tablero para que, una vez hecha la carga en un vagón, corra éste y venga á presentarse otro vacío. En nuestro país el inconveniente sería mayor, porque, á causa de la falta de uniformidad en el material móvil, que dá diferencias notables de altura sobre carriles y ancho de las cajas aun para vagones de la misma série,

habría que desarmar también el caballete y variar la posición del durmiente que fija el pié de la rampa.

La rampa reglamentaria en España, aunque es susceptible de perfeccionamientos, la consideramos superior á la alemana.

Material de transporte.

148. Es notable la enorme cantidad de material móvil de que disponen las vías férreas de Alemania, y sin apelar á los datos estadísticos que dan la cantidad de carruajes de todas clases y de locomotoras, por kilómetro de vía, números superiores á los de otras naciones, basta viajar por las principales líneas ferroviarias del imperio alemán para formar idea del inmenso material de que disponen, y de la facilidad con que, en un momento determinado, ha de operarse la concentración de las tropas.

Los vagones de mercancías, cerrados, están dispuestos para el transporte de tropas y ganado, y lleva cada uno las inscripciones convenientes, en que se marca el número de hombres, ó el de caballos, que pueden alojarse en cada uno de los vagones.

Los destinados al ganado llevan unas barras que, en circunstancias ordinarias, están alojadas en la parte superior del vagón, cerca del techo, y en el momento preciso descienden y sirven para atar los caballos, así como otras también, que colocadas en sentido transversal al vagón, pueden hacer, si se cree necesario, el papel de vallas. Hay también faroles portátiles, que por medio de un perno se aseguran á las viguetas del techo del vagón; pequeñas tablas, que pueden colgarse y hacer las funciones de tablas mochileras; barras para colgar las mochilas y el casco, etc., etc.

En los vagones de tropa se colocan bancos de madera, portátiles, muy ligeros é ingeniosos. El asiento y los piés giran alrededor de charnelas, y el todo ocupa así, cuando no está armado, un espacio muy reducido. Hay diversos tipos, que la falta de tiempo nos impide reproducir, y su colocación en los vagones, según la capacidad de éstos, permite embarcar en cada uno 32, 40 ó 48 hombres, á 8 por banco doble, ó 4 por cada uno sencillo. El asiento de cada semibanco tiene $2^m,20$ de largo y $0^m,350$ de ancho, de modo que corresponde á cada soldado $0^m,55 \times 0^m,350$, quedando pasillos cuando ménos de $0^m,535$ de anchura.

149. Los puentes que vimos eran de madera, con cepas, estribos y tablero, todo de este material. Las cepas de madera tenían la forma de caballetes de los tipos ordinarios, y los tramos se componían de vigas ensambladas, compuestas cada una de cuatro vigas escuadreadas, superpuestas, con tacos de madera dura interpuestos y unidas por medio de cinchos y pernos de hierro. Puentes.

Como puentes desmontables, portátiles, nos dijeron que habían empleado vigas parabólicas, de cordón superior, horizontal. El cordón inferior *A C B* (fig. 28), sometido á extensión, se compone de trozos *F C*,

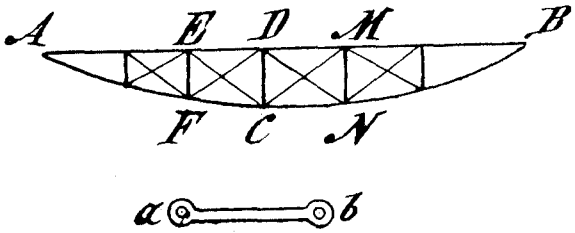


Fig. 28.

C N, etc., formado cada uno de dos barras planas de hierro *a b*, con cabezas circulares en sus extremos y orificios para el paso de los pernos de unión.

Los diagonales *E C*, *D F*, *D N*, etc., son también de hierro, y los montantes *E F*, *D C*, etc., de madera.

El cordón superior se compone de dos ó más filas de maderos, yustapuestos. Suprimiendo los trozos centrales puede obtenerse la longitud que se quiera, apropiándola á la variedad de luces que en campaña se presentan.

No es de alabar la combinación de madera y de hierro para esta clase de puentes. El sistema no cabe duda de que es sencillo, y descomponible en elementos de pequeñas dimensiones, pero creemos que no es susceptible de aplicarse á grandes luces, y además que el corrimiento de las vigas ha de hacerse con dificultad, á no emplear medios auxiliares, embarazosos siempre.

A las observaciones que respecto á este material hicimos nos contestaron que tenían estudiado otro tipo de puentes, todo metálico; pero no nos fué posible obtener ningún dato sobre él.

ZAPADORES.

Cuartel. *150.* El cuartel del batallón de Zapadores, que visitamos después del del 2.° de Ferroviarios, está situado en Köpenicker Str., á orillas del Sprée. Es de planta de forma de U y su organización es semejante á la del cuartel antes citado, por lo que omitimos su descripción. Uno de los ayudantes del batallón nos sirvió de guía.

En un gran patio á orillas del Sprée, que en este sitio apenas tiene corriente, estaba aparcado el material de puentes reglamentario, empleado en la instrucción de los soldados y clases.

En uno de los lados del patio se veían aparatos para la enseñanza de la gimnasia (á la cual, muy acertadamente, conceden en Alemania grande atención), tales como palizadas para el salto, pasaderas de foso, palos rollizos para paso de ríos, escalas, pórticos, etc.

Material de puentes. *151.* Este país fué verdaderamente el que se adelantó presentando el sistema moderno de material de puentes, sistema que fue posteriormente imitado, mejorado y convenientemente modificado por Holanda y Dinamarca.

Existen en Alemania trenes de puentes de división y de cuerpo de ejército, afectos á los regimientos de Zapadores.

El tren de división tiene 9 carros con tiro de 6 caballos y uno con tiro de á 4, arrastrando material para 36 metros de puente normal, 6 pontones y 4 caballetes.

El tren de cuerpo de ejército transporta en 30 carros de 6 caballos y 2 de á 4, material para 122 metros de puente normal, 26 pontones y 4 caballetes.

Los atalajes son de collerón y de color avellana.

El material de puente se carga en carros de un solo tipo, de madera (fig. 1, lám. 31), con brancales inclinados y construcción parecida al de Birago. Tiene rastra y freno de torno en el juego trasero (fig. 3.ª, lám. 33).

Hay dos cargas: la del carro de pontón (fig. 1, lámina 31), que transporta, además del flotante, el material completo para la construcción de

un tramo, y la del carro de caballetes (lámina 32), que contiene dos caballetes y material para un tramo. El carro descargado pesa 850 kilógramos, y con la carga de pontones ó caballetes, 2150 kilógramos.

Tienen además los carros de fragua, útiles, forraje y equipaje, idénticos á los de zapadores, componiéndose el tren de puentes de cuerpo de ejército, de 26 carros de pontones y 2 de caballetes, con 2 más de fragua y 2 de útiles.

Los caballetes son del sistema Birago, con piés de dos longitudes, 3 y 4,50 metros.

El pontón, imitado y perfeccionado después por otros países, es entero (lámina 30), de hierro galvanizado, de 1,66 á 1,88 milímetros de espesor en el fondo y de 1,13 á 1,38 milímetros en las bandas, con bordas de madera y perfil curvo.

Pesa 450 kilógramos (12 kilógramos ménos que nuestra proa) y su fuerza de flotación es de 6750 kilógramos. La de nuestra proa es de 3850 kilógramos.

La longitud total de este pontón es de $7^m,5$. En el carro se coloca boca abajo, sujetándose por medio de unas amarras con cadena, representada en la figura 1, lámina 31.

Las viguetas de pavimento son diferentes según que los tramos sean de pontones ó de caballetes. Las empleadas en aquéllos no tienen garras, trincándose á los pontones, sobre cuyas bordas asientan directamente. Su escuadría es de 13 $\times$ 10,5 centímetros y su longitud de $6^m,60$.

Las viguetas de los tramos de caballetes están provistas de garras de madera como las del tipo Birago; tienen una escuadría de 15 $\times$ 10 centímetros y una longitud de $5^m,50$.

Todos los tramos tienen cinco viguetas. La longitud del de caballetes es de 5 metros y la de los tramos normal y reforzado de pontones, 6 metros y $4^m,50$ respectivamente.

El tablón es de $3^m,75$ de largo para una anchura de puente de $3^m,025$, exceso de longitud á que obliga la supresión del medio tablón para la trincadura del tablero. Está reforzado el tablón por unos flejes en forma de S, incrustados de canto en sus cabezas, con lo que se evita eficazmente, sin casi aumento de peso, que el tablón se astille ó destruya en su parte más débil.

Los aparejos de navegación no ofrecen nada de particular. El ancla es como la nuestra, empleándose también el rezón representado en la lámina 30.

El material de madera está sin pintar, á excepción de los carros.

La instrucción de puentes tiene lugar en el cuartel mismo, sobre el Sprée, que lame uno de los costados del patio central, y las maniobras se ejecutan de un modo tan parecido á las ya explicadas con el tren danés, que no hay por qué insistir más sobre este asunto.

Almacenes. *152.* La falta de espacio para contener tan abundante material ha obligado á disponer los almacenes en tres pisos diferentes de un mismo edificio, que se comunican por grandes rampas, por las que bajan los carros cuando llega el caso de utilizarlos, valiéndose de tornos instalados en los dos pisos superiores.

Además de este edificio hay en el cuartel de Zapadores otros dos almacenes de un solo piso, uno en el cuartel y otro en las inmediaciones, al otro lado de la vía pública.

Vimos en estos almacenes el material de reserva, consistente en carros de pontoneros como los descriptos, de zapadores y de telegrafistas.

Los de zapadores son de los tipos siguientes:

El carro de compañía (fig. 3, lámina 31).—Reglamentario en todo el ejército, destinado á transportar la documentación y caudales de la compañía y los equipajes de oficiales. Este carro es el más ligero, pues los demás son muy pesados y serían de muy difícil empleo en terrenos montañosos.

El carro de útiles (fig. 1, lámina 33).—Los útiles de zapador se transportan á granel. En la zaga tiene un cajón para efectos menudos y en el interior otro para contener una pequeña fragua de campaña.

El carro de cajón (fig. 2, lámina 31).—Transporta herramienta y útiles de minador en cinco compartimientos. Los dos de zaga y los dos delanteros se abren por la parte posterior y anterior respectivamente, y el compartimiento central está abierto por la parte superior, que se cubre con una sólida tapadera.

Carro de forraje (fig. 2, lám. 33).—Es de construcción análoga á los carros empleados en el país y llena las funciones de nuestro carro catalán.

De material telegráfico sólo vimos dos tipos de carruaje: un cabriolé para dos personas, con un cajón en la zaga destinado al servicio é inspección de las líneas, y un carro de material, análogo al danés, con dos cajones de abertura lateral.

El material de estación y línea que había en los almacenes era escaso y de poca novedad.

En el polígono no había nada notable, á excepción de los abrigos metálicos de que á continuación damos cuenta.

Abrigos y repuestos de chapa ondeada.

153. Hacen uso los alemanes, para la construcción de abrigos y repuestos en las obras de campaña, de unas chapas de palastro de acero ondeadas, que creemos están llamadas á prestar grandes servicios, y por esta razón las describimos á continuación con todo detalle (véase la lám. 34).

Cada chapa ondeada (*P*, fig. 8) está curvada, con rayos de curvatura de $1^m,45$ y $1^m,52$. Tiene $0^m,99$ de anchura total y $0^m,94$ de anchura útil, debiéndose esta diferencia á que las dos semi-ondas extremas *A B* se solapan con las chapas que van á continuación. Las ondas (figuras 12 y 14) tienen 70 milímetros de eje mayor y 45 milímetros de eje menor. El grueso de las chapas de acero es de 1,5 milímetros, pero se podría hacer mayor si se creyese necesario darles mayor resistencia. La longitud de la chapa, contada según la curvatura *A M* (fig. 8), es de $2^m,76$.

Cada dos chapas reunidas en la junta *M* de clave forman una pequeña bóveda de $0^m,94$ de longitud de eje y $2^m,80$ de luz. El diámetro mayor es de $2^m,90$ á $0^m,44$ de los arranques; de modo que la bóveda es de forma peraltada.

Las chapas se terminan en sus extremos del siguiente modo (figuras 8 á la 15): En la parte inferior que hace de arranque del arco metálico va cosido á la chapa, con pequeños roblones, un hierro en escuadra, de $\frac{50 \times 75}{7}$ (figuras 8 y 9), y en la parte superior, que hace de junta de clave, está cosido un hierro en U, de $\frac{50 \times 100}{9}$ (figuras 8, 10, 11 y 12).

El hierro en escuadra, inferior, lleva en la rama que hace de plano de arranque taladros *b* (fig. 14) para el paso de las escarpias (fig. 19), que han de fijar la plancha á la solera de madera *S* (fig. 8).

El hierro en U de la junta de clave (figuras 11 y 12) tiene unos rebajos *a* en la rama superior y unos taladros cilíndricos *m* en el nervio central. Estos últimos sirven para hacer la unión de las dos planchas por medio de pernos en la clave, y los primeros tienen por objeto permitir el empleo de la llave *N* (figuras 11 y 16), que ha de facilitar la unión de los dos hierros en U para que puedan introducirse los pernos. El uso de la llave, compuesta de un hierro curvado *R* y de la palanca con excéntrica *N*, se comprende á la simple inspección de las figuras, y por esto no detallamos su descripción.

Las dos soleras *S* (figuras 8 y 18) están atirantadas por medio de las piezas de madera *T* (figuras 8 y 17). En las figuras están acotadas en medidas métricas las dimensiones. Los tirantes *T* están cajeados en sus extremos para recibir las soleras *S*.

Para armar los abrigos se explana bien el terreno del fondo, y sobre él se colocan paralelamente los tirantes *T*, alineándolos bien, á cuyo efecto sirven las pequeñas muescas labradas en su punto medio (fig. 17).

Sobre los tirantes se colocan las soleras *S*, y á ellas se aseguran las chapas por medio de las escarpias (fig. 19). La unión de las chapas en la junta de clave se hace del modo que indica la figura 11, aproximando los hierros en U é introduciendo en ellos los pernos.

De este modo queda formada una bóveda de $0^m,94$ de longitud de eje. Si la longitud ha de ser mayor (fig. 1) se colocan á continuación nuevos trozos.

En la lámina 51 están representadas algunas de las aplicaciones que puede recibir este material. Las figuras 1, 2 y 3 representan un abrigo debajo de un parapeto, formado de seis chapas, es decir, de tres trozos de bóveda que dan una longitud de eje de 3 metros. Aparecen dos bancos pequeños á los lados, y uno mayor en el centro. El plano de fondo de la bóveda (fig. 3) se reviste de tablones para que se sostengan verticalmente las tierras adosadas.

Las figuras 4, 5 y 6 dan á conocer la disposición que puede adoptarse en una paralela á retaguardia de ella. Resulta una bóveda cuyo eje, paralelo al de la trinchera, puede tener la longitud que se quiera, si bien no es conveniente que exceda de 12 metros para que haya luz y ventilación suficientes.

La figura 7 es otra de las aplicaciones, en una trinchera de circulación.

Según los ingenieros alemanes la resistencia de esta clase de abrigos es grande, puesto que pueden recibir sobrecargas de tierra hasta de 4 metros de espesor en la clave, suficiente, dada la penetración de los proyectiles de la artillería de campaña.

Fácil es calcular la resistencia (y la falta de tiempo nos impide hacerlo), pero desde luego puede asegurarse que ha de ser muy grande. El momento de inercia de dos semi-ondas seguidas ∩∪ es el mismo, como se sabe, que el de un tubo de sección elíptica ∩∪ resultante de la superposición de dos semi-ondas, y de aquí la resistencia y rigidez grandes de las chapas ondeadas. Empleando chapa de acero (galvanizado para evitar la oxidación) cuyo coeficiente de trabajo puede ser, perfectamente, hasta de 12 kilógramos por milímetro cuadrado, teniendo en cuenta la cohesión que adquieren las tierras de la sobrecarga por efecto del apisonado, por cuya cohesión solamente pesará sobre las chapas una parte de aquellas, se comprende que pueda darse un gran espesor al macizo, por encima de la clave, y poner á cubierto de los proyectiles el interior del abrigo.

El peso de cada chapa (unos 80 kilógramos) no es grande, y sus dimensiones y forma se prestan á ser almacenadas, transportadas y puestas en obra con facilidad.

Si se compara su volumen y peso con el de las maderas necesarias para igual objeto, si se tiene en cuenta la duración, muchísimo mayor que la de la madera, fácilmente putrescible y combustible, y se atiende á la rapidez con que se pueden formar los abrigos, se deducirá que el empleo de este material promete ventajas que merecen la pena, siquiera, de hacer ensayos en las escuelas prácticas de nuestros regimientos de Zapadores, para determinar el valor é importancia que realmente tiene.

AEROSTACIÓN MILITAR.

154. Los alemanes, como los franceses, dedican muy especial atención á este asunto, consagrándose á la instrucción de un personal que reuna las necesarias condiciones de aptitud y práctica en el manejo de los globos militares. En este punto, como en todos, guardan la mayor reserva; se sabe no obstante que sin abandonar en absoluto el problema de la navegación aérea en los límites en que puede ser prácticamente posible, se dedican especialmense á perfeccionar el material conocido, ejercitándose en su manejo por medio de frecuentes ascensiones libres y en globo cautivo, en las cuales no ha dejado de ocurrir algún accidente desgraciado. Citaremos únicamente el que tuvo lugar el 26 de Julio de 1888, por la analogía que guarda con el ocurrido en España y del que oportunamente dió cuenta á la superioridad el Comandante Ferrer en los términos siguientes: «Un globo, tripulado por un teniente y dos soldados del destacamento, que había salido á las diez y media de la mañana del día 26, de Berlin, descendió á las tres y media de la tarde cerca de Jakobsdorf. Se comenzó la operación de dar salida al gas y recoger el globo con alguna precipitación, con objeto de poder regresar con él á Berlin por el tren de la tarde; pero cuando estaba á medio vaciar y en el momento de estar cogido á la barquilla uno de los soldados, el gas hizo explosión, el globo se elevó rápidamente, cayendo en seguida con igual rapidez, y el soldado arrastrado por la barquilla resultó muerto en la caida. Del expediente que se mandó formar, y que en el acto se incoó, resultó que ninguna de las personas que se hallaban en la inmediación, fumaba, ni pudo ser causa del accidente, que tal vez fuese debido á algún fenómeno eléctrico, pues mediaba la circunstancia de haber atravesado el globo durante su viaje algunas nubes tempestuosas. El hecho ha quedado sin explicación y ha dado origen á grandes discusiones.....»

Entre los adelantos de que hemos tenido noticia, no citaremos el globo dirigible de Wœlfert, cuyo valor práctico ignoramos, pero sí el generador de hidrógeno de Majest y Richter, químico de algún renom-

bre el primero y ex-teniente de Artillería, prusiano, el segundo, cuyo aparato creemos ha sido adoptado para el ejército alemán, después de experimentado en Fürstenwalde, cerca de Berlin, á presencia del jefe de la sección aerostática del ejército prusiano, de varios jefes alemanes y de los agregados militares extranjeros.

El aparato tiene por objeto producir el hidrógeno por la vía seca, con gran rapidez y ocupando un pequeño espacio.

Consta de un hogar, que puede ser alimentado con cualquier combustible, y sobre él una serie de tubos ó retortas (unos 30 en total) en los que se introducen unas cajas metálicas llenas con una mezcla de zinc en polvo é hidrato de cal, de la que se desprende rápidamente, á la acción del calor, el gas hidrógeno.

El aparato está instalado en un carro arrastrado por seis caballos, y que puede marchar por toda clase de terrenos por donde pase una pieza de campaña.

INSTITUTO MECÁNICO DE ENSAYO DE MATERIALES, DE BERLIN

155. No hace mucho tiempo se formó por la antigua Dirección de Ingenieros un proyecto para el establecimiento de un *Gabinete de ensayo de materiales de construcción*, idea acertadísima por más de un concepto y cuya realización había de reportar grandes ventajas para el servicio de obras de nuestro Cuerpo, y áun para el país en general. Lamentable es que no haya pasado á la categoría de hecho real la idea proyectada; y conocedores nosotros de la importancia del asunto y noticiosos de la existencia de un establecimiento de esta clase en la capital de Prusia, creimos comprendida en la misión que nos estaba encomendada la visita á este centro, por tratarse de materia referente á uno de los servicios más importantes del Cuerpo de Ingenieros.

De grande enseñanza nos fué la visita, y sentimos que la falta de tiempo y de presupuesto para la redacción de la presente Memoria nos obligue á dar cuenta de ella ligeramente, sin el detalle de descripciones y de figuras que el asunto merece.

En Charlottenburgo, en los arrabales de Berlin, hállase establecido

el *Real Instituto mecánico de ensayos*, bajo la dirección de Spangenberg, tan conocido por sus estudios y experiencias sobre las constantes específicas de los materiales, y continuador de los trabajos del famoso Woehler.

Ocúpanse mucho en Alemania de estas importantes cuestiones, y buena prueba de ello, entre otras muchas, es el establecimiento que visitamos, y el aún superior á éste, que en Munich dirige el célebre Bauschinger, autor de las interesantes experiencias relativas á la elasticidad de los metales.

El Real Instituto de Berlin cumple dos misiones á cual más importantes: es la primera contribuir de modo poderoso al adelantamiento de la ciencia, porque las experiencias mecánicas, acompañadas de los análisis químicos, constituyen el verdadero medio de progresar en la metalurgia y en la mecánica aplicada, proporcionando datos específicos seguros, descubriendo nuevas leyes, y, en una palabra, llenando los grandes vacíos que se notan en el conocimiento físico-mecánico de los materiales de construcción, sobre el cual se fundamentan todos los cálculos de resistencia. Desde las experiencias de Morin hasta las más recientes, se han desvanecido un gran número de errores, y esta labor continúa con éxito, gracias á la mayor precisión en las observaciones, obtenida por máquinas á las que se han aplicado todos los adelantos industriales, dando al factor *tiempo* toda la importancia que tiene y colocando á las piezas sometidas á experimentación en las mismas condiciones en que han de trabajar.

El segundo de los objetos que se consiguen con el *Instituto de ensayos* es el de dar garantías al que compra los materiales y estímulo al productor. Los fabricantes de metales, cuerdas, cables, cementos, papel, aceite, etc., mandan sus productos á aquel Centro, son ensayados allí y se extiende un acta ó certificado en que se consignan las cualidades del producto, y esto es una patente de su bondad.

156. El edificio ocupado por el Instituto es de ladrillo agramilado, de planta baja y principal, y en él están instaladas las oficinas, los motores, laboratorio químico y los gabinetes de ensayos de metales, de cementos, de papel, etc.

157. El gabinete de ensayo de metales se compone de seis salas,

destinadas á preparación de ejemplares de prueba, muestrario de los ejemplares ensayados, salas de máquinas y alojamiento del motor.

158. En la sala dedicada á guardar los ejemplares ensayados se ve numerosa colección de barretas metálicas, de prueba, en la que pueden observarse todos los fenómenos de deformación permanente precursora de la fractura, ya por extensión, con el huso á que da lugar la estricción, ya por compresión, en piezas sólidas y tubulares, con los ensanchamientos de sección consiguientes, ya de tracción, en cables de todas clases. Para amarrar los extremos de estos últimos y colocarlos en las mordazas ó garras de las máquinas que trabajan por extensión, se ven todos los sistemas conocidos. La sala es un verdadero museo, en que puede estudiarse cuanto se refiere á las deformaciones y fractura de barras y palastros de todas clases, prismas, tubos, cables, etc. Contiene también una pequeña máquina muy ingeniosa para medir la dureza de los metales, y esta medida es dada por el trazo que deja marcado en el ejemplar de ensayo un pequeño buril situado en el extremo de una palanca, sobre cuyo brazo graduado corre un contrapeso cilíndrico, que, según la posición que ocupa, hace que ejerza presión variable la punta de buril sobre la pieza de metal, á la que se da un pequeño movimiento rectilíneo por medio de una manivela.

159. En la sala inmediata, situada en la planta baja, y á la que se desciende por una escalera de hierro, se encuentran varias máquinas de ensayo de metales. Una de ellas es del tipo Werda, de 100.000 kilógramos de fuerza, con motor hidráulico y aparato dinamométrico de balanza. El banco, que contiene las garras que reciben el ejemplar de ensayo, es de unos 10 metros de longitud, y permite, por lo tanto, probar á la tracción piezas muy largas.

Máquinas iguales existen en Viena, Buda-Pesth, Stokolmo y San Petersburgo, pero no son de las mejores en su especie, por su difícil manejo, mucho tiempo y personal que requieren, y no muy grande exactitud en las indicaciones.

En cambio es digna de todo elogio una máquina vertical Martens, construida en la Maschinen-Actien-Guesselsschaft-Nürnberg (Sociedad comanditaria de máquinas de Nürnberg), instalada al lado de la anterior. Sirve exclusivamente para las pruebas por tracción, y tanto el apa-

rato dinamométrico, como el sistema de espejos y anteojos para medir las deformaciones, están llevados á la última perfección. Todo es automático, y se obtienen trazados gráficos que dan los diversos períodos de deformación y fractura. Esperaban otra máquina Martens, de fuerza de 600.000 kilógramos, y tenían preparadas las gruesas barras de acero que iban á ser sometidas á experiencia.

Hace algún tiempo estaban verificando, y continuaban en la época de nuestra visita, repetidas experiencias con objeto de determinar la influencia de la temperatura en las deformaciones y coeficiente de fractura por extensión de barras de hierro y acero. Veíanse en grandes cuadros, las barretas ensayadas, con inscripciones en que se manifestaban los datos y resultados de la prueba, curvas elásticas, etc. Las temperaras de ensayo eran — 20°, 0°, + 100°, + 200°, + 300°, + 400° y + 600°, y, entre otros resultados notables, se nos dijo habían observado que, en lo referente á la estricción, hay un salto brusco para la temperatura de + 300°, en la cual las barretas no dan estricción sensible. En cambio el coeficiente de fractura disminuye de modo muy gradual y uniforme á medida que la temperatura aumenta. Tienen por poco concluyentes las experiencias de Knütt Styffe (Director del Instituto tecnológico de Stockolmo) que hasta ahora eran las más completas, y esperan obtener resultados notables que arrojen completa luz sobre la influencia de la temperatura en el valor de las constantes específicas del hierro y de los aceros diversamente carburados.

160. Otra de las salas del piso bajo está dedicada á la instalación de todas las máquinas productoras de esfuerzos reiterados un gran número de veces, de extensión, flexión y torsión.

Sabido es que al ingeniero alemán Woehler se deben las primeras experiencias que han puesto de manifiesto las notables irregularidades relativas á coeficiente de fractura por fuerzas repetidas un gran número de veces. Experiencias de esta clase son continuadas, cuidadosamente, en el Instituto de Berlin, algunas de ellas en barras que empezó á ensayar el mismo Woehler, pues claro es que tratándose de esfuerzos repetidos un gran número de millones de veces, las experiencias duran muchos años.

Para los esfuerzos reiterados de tracción, emplean una máquina cuyo

esquema damos adjunto. La palanca *A B* (fig. 29), giratoria en *C*, lleva en uno de los extremos *B* la garra *B a*, entre la cual, y la *D b*, fija en la parte inferior, se coloca la barreta *a b* sometida á ensayo. La palan-

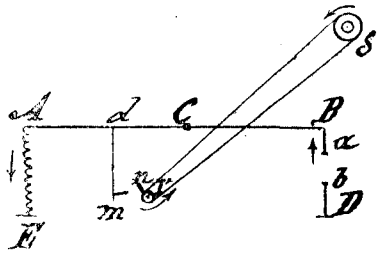


Fig. 29.

ca *A B* está unida en su otro extremo *A* á un resorte *A E*, y tiene un vástago *d m* provisto del diente *m*, en el que choca el saliente *n* de la polea *r*, la cual gira constantemente en el sentido de la flecha por el movimiento que le comunica la polea *s*, á la que está ligada por una correa. Esta polea *s* está unida al arbol general de transmisión, que pone en movimiento otras máquinas. El motor, que es de gas, está colocado en una habitación inmediata. Al chocar el saliente *n* con el diente *m*, la palanca *A B* gira al rededor de *C*, de derecha á izquierda, y ejerce una tracción en la barreta *a b*, repitiéndose la tracción en cada una de las rotaciones de la polea *r*. El muelle *A E* convierte en tracción gradual, para la barra *a b*, lo que de otro modo sería tracción brusca. Un contador, movido por la misma máquina, acusa el número de tracciones de la barreta.

Hay várias palancas como la *A B*, reunidas en un solo grupo, y movidas al mismo tiempo.

Otra máquina sirve para los esfuerzos reiterados de flexión en sentido opuesto, colocando á las piezas en las mismas condiciones de trabajo en que se hallan los ejes de los carruajes de vías férreas, los cuales estando acuñados á las ruedas, y girando con ellas, se flexan, como es sabido, en sentido contrario. Esta clase de experiencias, que fueron de las primeras que realizó Woehler, son de grande interés.

Por último; contenía la sala máquinas que producen esfuerzos reite-

rados de flexión, en el mismo sentido siempre, como lo que sucede á los muelles de suspensión de los carruajes, y otras máquinas para producir esfuerzos de torsión, en el mismo sentido unas, y en sentido opuesto otras. Todas ellas están provistas de contadores en que puede leerse el número de repeticiones de esfuerzos.

161. La sala destinada á los ensayos mecánicos de cementos contiene una completa colección de máquinas que permiten hacer las pruebas por tracción y por compresión.

En los cementos, aparte el análisis químico, hay que determinar el grado de molido, la rapidez de fraguado y la resistencia á la extensión y compresión. Para lo primero, se hace pasar el cemento por cedazos de 900 mallas por centímetro cuadrado, formadas por alambres de diámetro igual á la mitad de la dimensión de las mallas, y se mide la parte alícuota de los resíduos, que no debe exceder en los buenos cementos del 10 por 100 del volúmen cernido, como máximo.

Para determinar el aumento de volúmen que experimenta el cemento al fraguar, aumento perjudicial porque produce grietas en la masa que pueden causar su destrucción, se forma sobre una hoja de vidrio una galleta de pasta de cemento, que tenga centímetro y medio de espesor en el centro y adelgazada por los bordes. A este efecto se amasa el cemento en papilla espesa, de modo que colocada sobre el vidrio, y moviendo éste en sentidos opuestos, la masa oscile también, dirigiéndose hácia los bordes de la galleta. Una vez que el cemento ha fraguado, se guarda durante veinticuatro horas, en un espacio resguardado del sol y del aire seco, y se sumerge después en agua.

Si el cemento aumenta de volúmen, se forman pliegues y grietas en la masa.

La rapidez de fraguado se determina por medio de una aguja de un milímetro cuadrado de sección transversal y 300 gramos de peso. Se entiende que empieza el fraguado cuando la aguja penetra en la masa, pero no completamente, y que el fraguado ha terminado cuando la aguja no penetra nada.

El cemento Portland es calificado de fraguado lento, ó de fraguado rápido, según que éste tenga lugar después ó antes de las dos horas.

Para las experiencias de resistencia á extensión y compresión no se

emplea el cemento puro, como es sabido, sino el mortero de cemento, de una parte en peso de cemento y tres de arena. Esto es lo verdaderamente interesante, puesto que el cemento no ha de emplearse puro en las mamposterías, y cuanto mayores sean los coeficientes de fractura del mortero, será prueba de mejor calidad del cemento, como que podrá mezclarse con mayor cantidad de arena.

En el resultado de los ensayos influyen muchas circunstancias, como son la temperatura del agua, clase de arena, modo de amasar los ladrillos sometidos á ensayos, etc.

La arena es de la llamada normal, suministrada por el «Consejo de la Asociación de fabricantes alemanes de cemento». Es muy pura, perfectamente seca y sus granos han de pasar por el cedazo de 60 mallas por centímetro cuadrado y ser detenidas por el de 120 mallas por centímetro cuadrado, siendo de unos $0^{m},35$ el diámetro de los hilos.

De este modo se eliminan los granos muy gruesos y los muy finos, y los resultados de los ensayos pueden ser comparables.

Los pequeños ladrillos de mortero de cemento, de forma de carril de doble T que han de someterse á la tracción, presentan una superficie de fractura de 5 centímetros cuadrados y los cubos que han de romperse por compresión tienen 50 centímetros cuadrados de superficie en la base. En la fabricación de los ejemplares de prueba se toman cuidadosas precauciones, mezclando primero, en seco, el cemento y la arena, en las proporciones de una á tres, como hemos dicho; añadiendo después el 10 por 100 del total, también en peso, de agua, batiendo el todo, introduciendo, de una vez, la masa en la gradilla ó molde, y apisonándola hasta que resude el agua en la cara superior. El apisonado se hace á mano ó mecánicamente, y en seguida se pasa un cuchillo, á guisa de rasero, para igualar la citada cara.

Quítase después el molde, y se lleva el ejemplar á un espacio cerrado al sol ó al aire caliente, á fin de evitar desecaciones prematuras, y á las veinticuatro horas se sumerje en agua, que se renueva. Al cabo de un cierto número de días de inmersión, que generalmente es de veintiocho, se hacen las pruebas de tracción y de compresión, anotándose, con el mayor cuidado, los coeficientes de fractura. En las pruebas de tracción, se aumenta gradualmente el esfuerzo tractor por incrementos de 100 gra-

mos por segundo, hasta obtener la fractura. Generalmente se toma como coeficiente de fractura el promedio de los resultados de diez experiencias, y lo mismo se hace en los ensayos de compresión.

El Ministerio de Obras públicas prusiano exige, en las adquisiciones de cemento Portland, de fraguado lento, que los coeficientes de fractura por extensión y por compresión, en pruebas verificadas en las condiciones antes descritas, sean respectivamente, 16 kilógramos por centímetro cuadrado y 160 kilógramos por centímetro cuadrado, en ejemplares de 1 de cemento + 3 de arena, en peso, expuestos un día al aire y veintisiete días bajo el agua.

CONCLUSIÓN.

162. Difícil ha sido en todas épocas el problema de la fortificación, pero la dificultad ha aumentado considerablemente en estos últimos años, á causa de los progresos realizados por la artillería en alcance, precisión y efecto de los proyectiles. Basta recordar la pequeñez de los lados del rectángulo de certeza de cañones, obuses y morteros, las penetraciones en tierras, mampostería y placas metálicas y el efecto destructor de los nuevos proyectiles-torpedos, ó proyectiles-minas, para comprender hasta qué punto se ha hecho difícil hoy la misión del ingeniero militar. Algunas consideraciones sobre fortificación.

Todos los ingenieros están conformes en reconocer la necesidad de transformar, si no los principios fundamentales de la fortificación, el modo de aplicarlos, y de aquí el gran número de proyectos dados á luz en estos últimos tiempos, sin que de todos estos trabajos se pueda deducir, en definitiva, nada concreto ni decisivo en favor de la solución que se persigue, ni se vislumbre el fin del *grand désarroi* en que, según la expresión de un eminente ingeniero, se encuentran hoy los ingenieros militares. Las ideas y opiniones son encontradas, áun las emitidas por doctos Oficiales, y puede decirse que se está todavía en el laborioso período de gestación.

No hemos de ocuparnos en este escrito de los principios fundamentales de las llamadas antigua escuela y nueva escuela, ni del detalle de los proyectos de Brialmont, Sauer, Schott, Schumann, Woorduin, Mongin, Cambrelin, Laurent y otros muchos distinguidos escritores militares, porque, publicados en libros, folletos y revistas técnicas, son perfectamente conocidos de todos nuestros Oficiales, y nos limitaremos á

exponer algunas consideraciones respecto á las conclusiones siguientes, admitidas por muchos ingenieros como resultado de las experiencias sobre el tiro de la artillería de sitio y el efecto de las granadas-torpedos.

El servicio de las piezas al descubierto, sobre montajes fijos, es imposible.

No es prudente contar con la tierra como material para las masas cubridoras, porque estos macizos son fácilmente dispersados por los proyectiles de melinita.

El material de artillería expuesto al tiro directo de gran velocidad solamente puede ser eficazmente protegido por masas metálicas (baterías, cúpulas, etc.)

El material y personal puede ponerse á cubierto de los fuegos curvos por medio de macizos de hormigón de cemento, de espesor suficiente.

Es tan grande el misterio que envuelve á las experiencias que con proyectiles cargados de melinita, algodón-pólvora y otros explosivos se han practicado en Francia, Alemania, Bélgica y otros países, que no es fácil procurarse datos ciertos sobre los resultados obtenidos. A cuantos Oficiales extranjeros de Ingenieros y de Artillería hemos tenido ocasión de hablar, hemos preguntado sobre este asunto, y las contestaciones fueron tan vagas ó tan contradictorias, que no nos atrevemos á consignarlas, por temor de incurrir en errores que podrían ser de trascendencia. Por otra parte, no vemos que hubiera dificultad en realizar en España experiencias de este género, y bien lo merece el asunto, tanto más cuanto que, por lo que á los hormigones se refiere, se podrían adquirir datos seguros respecto al valor de los cementos y otras materias hidráulicas de nuestro país.

No discutiremos la primera de las conclusiones antes citadas, que consideramos exacta en muchos casos; pero hallamos demasiado absoluta la segunda, y entendemos que serían necesarias experiencias repetidas para llegar á desechar la tierra como material de los macizos protectores, porque no creemos que un espaldón ó parapeto sea tan fácilmente arrasado como algunos pretenden; y lo que hemos tenido ocasión de ver en la Escuela de Minas de Versalles, respecto á efectos de la melinita en pequeños hornillos, nos confirma esta opinión. Otra cosa es cuando se emplea la tierra para cubrir una bóveda, porque entonces hace las veces

de atraque, en la explosión de la carga que lleva el proyectil, que se introduce hasta llegar cerca del trasdós, á no dar á la masa de tierras un espesor considerable, imposible muchas veces por los relieves máximos de que puede disponerse.

Cuanto al empleo de los metales para proteger á la artillería de combate, ya hemos expuesto nuestra opinión en la Memoria en que, en unión de nuestro compañero el distinguido Comandante D. Joaquín de la Llave, dábamos cuenta de las experiencias realizadas por el Grusonwerck en Septiembre del pasado año. Añadiremos, sin embargo, algunas consideraciones.

En la idea de proteger eficazmente la artillería, se ha llevado por algunos la protección de un modo tan absoluto, que no falta ya sino que el servicio de las piezas se practique automáticamente, y la guerra se haga entre máquinas sin intervención del hombre. Ciertos son los progresos de la artillería, pero de ellos hace uso no sólo el ataque sino la defensa, y en todas épocas ha habido, en ambas partes, piezas desmontadas y hombres fuera de combate. Si los fuegos curvos tienen tanta eficacia, si la fuerza de penetración de los proyectiles es tan grande y el efecto de las granadas-torpedos tan destructor que en corto tiempo se ven arrasados gruesos parapetos, convertidos en ruinas macizos enormes de mampostería y destruidas resistentes planchas de coraza ó de blindaje, ¿permanecerán intactas las obras de tierra, improvisadas, que construye el sitiador? La precisión de los fuegos del ataque ¿será mayor que la de los defensores, que pueden tener medido á centímetros el terreno en que el primero puede establecer sus baterías?

Por otra parte, es preciso no olvidar el coste enorme de las obras metálicas, el estado económico de nuestro país, los progresos constantes no sólo de la artillería sino de la metalurgia, y el período de evolución en que, en materia de fortificación, nos encontramos. No es prudente acoger desde luego las ideas dadas á luz, aunque se deban á distinguidos ingenieros, cuando aún naciones ricas, como Inglaterra, proceden en este asunto con gran parsimonia; cuando vemos proyectos y tipos presentados como el ideal de la perfección, que son modificados profundamente por los mismos autores al poco tiempo; cuando se corre el riesgo de que lo construido hoy, á costa de grandes sacrificios pecuniarios, sirva de

poco en breve espacio. Véase, en unos cuantos años, la diferencia entre los tipos primeros de fuertes preconizados por el ilustre Brialmont y los que propone recientemente; la diferencia entre el valor defensivo de las primeras cúpulas establecidas en Amberes y el que hoy tienen las modernas; entre el hierro y la fundición endurecida y el acero-niquel que hoy produce el Creusot.

Una opinión unánime hemos recogido en todos los países que hemos visitado: «El acorazamiento es muy caro». Y, ciertamente, no hay necesidad de salir de España para convencerse de esta verdad, cuando se vé el número de millones de pesetas á que asciende el presupuesto de una simple batería acorazada de costa, ó de las cúpulas de un fuerte.

Se nos objetará que, á pesar de esto, muchas naciones de Europa han dedicado cuantiosas sumas á la adquisición de cúpulas y acorazamientos. Cierto es, pero es preciso no perder de vista la situación en que estas naciones se encuentran en la política europea, situación que les obliga á estar constantemente dispuestos á la lucha, y de aquí los gastos enormes que hacen, aceptando todos los inconvenientes antes señalados.

No queremos decir, en cuanto antecede, que debamos permanecer inactivos, ni que hayamos de seguir, en la construcción de nuestras obras de defensa, las ideas y procedimientos antiguos, ni que en donde el servicio de la artillería al descubierto, con piezas inmóviles en los terraplenes, sea punto ménos que imposible, se acepte esta disposición, ó se limiten los medios de protección á la que pueden dar las casamatas Haxo ó las bóvedas de mampostería ordinaria que dejan visibles sus cabezas. De proceder así, las sumas invertidas serían completamente perdidas, y por este camino se conduciría á la fortificación á un descrédito tan grande como al que llega cuando se pretende emplear procedimientos tan costosos que toda la riqueza de una nación es poca para realizar el plan completo de su defensa. En la diseminación y movilidad de la artillería donde esto sea posible, en el empleo del tiro indirecto, en la sobriedad de aplicación de los metales, aceptando los últimos adelantos de la metalurgia en previsión de nuevos progresos en el poder destructor de los proyectiles, se encontrarán seguramente medios de salvar una parte del gran número de dificultades que hoy tiene que vencer el ingeniero militar.

Por lo que respecta á los elementos de construcción de que dispone hoy el ingeniero militar, no cabe duda de que figuran como principales los metales y el hormigón, y de ellos nos ocupamos, siquiera sea brevemente, á continuación.

163. Hemos tenido ocasión de manifestar, en otro lugar, nuestra opinión respecto á los metales aplicados á acorazamientos. Esta opinión es contraria al empleo de la fundición endurecida y del metal compound. El porvenir, en este punto, es de los aceros asociados con otros metales, como lo prueban los resultados obtenidos con los aceros cromados, para proyectiles, y los aceros niquelados, para planchas de blindaje. Metales. Cúpulas.

Los casquetes de las torres giratorias, deben ser, á nuestro entender, de acero niquelado, que aunque más caro que el ordinario ofrece muchísima más resistencia, y bueno es contar con una reserva de fuerza resistente en previsión de los progresos futuros de la artillería, pues estamos lejos de creer que ésta ha llegado al último límite de perfectibilidad.

En el estado de la industria moderna, pueden obtenerse grandes masas de este metal, de las formas que se deseen, y no vemos que haya dificultad en aplicarlo no solamente á los casquetes de la cúpula sino también á las placas de las baterías acorazadas.

Sabido es el papel importante que desempeñan en el artillado de una plaza las piezas de 15 y de 12 centímetros; y como hemos tenido ocasión de examinar las cúpulas que para los del primero de los dos calibres se han construido en el Grusonwerck y en el Creusot, con destino á los fuertes de Lieja y Namur, y con el mismo programa dado por el gobierno belga, expondremos el juicio que nos han merecido.

La cúpula Gruson, para dos piezas de 15 centímetros, en su forma general y en muchos detalles de organización es semejante á la del Creusot. La diferencia más saliente entre ambas es que en la primera se utiliza el peso del casquete y de toda la sub-estructura rotatoria, para anular el retroceso, de modo que toda esta parte de la torre hace las veces de montaje fijo, mientras que en la segunda el retroceso es anulado por sencillos frenos hidráulicos y de resorte, ya descritos en el número *55*. Resulta de esta diferencia que en la cúpula del Creusot no hay el más ligero movimiento de oscilación á consecuencia de los disparos,

mientras que en la del Grusonwerck las oscilaciones, medidas en el borde del casquete, han llegado á ser de 12 milímetros, con perjuicio de la resistencia del conjunto, y las roldanas que facilitan el movimiento giratorio, resbalan longitudinalmente, aunque en pequeña cantidad, sobre los carriles, sin que todos estos movimiento puedan ser impedidos por la acción de los frenos, que son ménos poderosos que los de quijada empleados en la cúpula del Creusot (*). Las oscilaciones y movimientos no solamente son perjudiciales para la resistencia del conjunto, sino para la puntería de las piezas, cuando se quieren hacer disparos repetidos á un mismo blanco.

La obturación de la cañonera, para impedir la entrada de los gases en el interior de la torre, es imperfecta en la del Grusonwerck: así se demostró en las experiencias realizadas á presencia del General Wautters, belga, y así lo reconoce el mismo establecimiento en las siguientes líneas: «Le troisième jour des experiences, l'obturation d'embrasure, composée de tresses de chanvre graisseés, fit défaut, et à partir de ce moment le sejour de la coupole et le service devinrent plus pénibles, surtout quand on tirait sous des angles de dépression» (**).

En la cúpula del Creusot no invade su interior la más pequeña cantidad de humo (número *55*) y el ruido del disparo es apenas perceptible.

En suma, la vibración, el ruido y el humo que se notan en la cúpula Gruson hacen penoso el servicio de las piezas, mientras que nada de esto se observa en la del Creusot. Por todas estas razones creemos preferibles las segundas.

Los llamados afustes acorazados, de eclipse, para cañones de tiro rápido, construidos en el Grusonwerck, llenan perfectamente su misión y no tendríamos inconveniente en aconsejar su adopción. Cuanto á los afustes acorazados de obuses y cañones de 12 centímetros, funcionan perfectamente, y su mecanismo es sencillo, pero adolecen de los defectos del ruido y humo, tan incómodos para el servicio de las piezas, de que ántes hemos hecho mención.

(*) Véase el folleto publicado por el Grusonwerck, titulado: *Rapport n.º 8.—Experiences avec une coupole a calotte en fer laminé pour deux cannons de 15 cm. de 25 calibres de longueur sur affuts san recul.*—Magdeburg-Buckau, Octobre 1890.

(**) Folleto citado en la nota anterior.

164. Hace mucho tiempo que los hormigones desempeñan un papel importante en las obras civiles y militares, y esta importancia ha aumentado considerablemente desde que se ha generalizado la fabricación de los cementos. Los macizos de piedra aparejados en voluminosas y complicadas dovelas no tienen hoy razón de ser, y son ventajosamente sustituidos por macizos de hormigón hidráulico; que pueden recibir con la mayor facilidad las formas más complicadas por medio de encofrados y cimbras de carpintería de forma conveniente; que son mucho más económicos, no solamente por la economía del material y de la mano de obra, sino también porque no exigen los costosos medios auxiliares de construcción, tales como andamios, puentes de servicio, carretones y grúas, necesarios para poner en obra sillares y dovelas de gran peso; que son más resistentes, porque forman verdaderos monolitos; y, finalmente, que permiten erigir las construcciones en plazo muy breve. Hormigón.

A todas estas ventajas hay que agregar, en lo referente á obras de defensa, otra importantísima. Los hormigones de cemento, construidos con piedras duras, son hoy las únicas obras de fábrica capaces de resistir el efecto de los proyectiles cargados de melinita, algodón-pólvora y otros explosivos, dando á los macizos los espesores convenientes, hasta el punto de que muchos ingenieros establecen, como axioma, que los únicos materiales de que puede disponer hoy día el ingeniero militar en la construcción de los macizos expuestos al fuego de la artillería, son los metales y el hormigón de cemento.

No es, pues, de extrañar el desarrollo que ha tenido la aplicación de esta clase de hormigones en la construcción de las obras de defensa. Alemania, en 1887, consumió en fortificaciones todo el cemento producido en las fábricas del valle del Rhin, y el de la fábrica de Stettin; es decir, 1.200.000 toneladas de cemento, que corresponden á 4.250.000 metros cúbicos de hormigón.

Pero para que el hormigón de cemento reuna las ventajosas cualidades ántes enunciadas, es preciso se cumplan minuciosos detalles relativos á la cualidad de los elementos que entran en su composición y á esta composición misma.

Uno de los materiales que exige reconocimiento más escrupuloso ántes de ser empleado en las obras, es, sin duda alguna, el cemento,

como que se presta á falsificaciones, ó bien puede tener defectos de fabricación que anulen ó disminuyan notablemente sus buenas cualidades; y como se trata de un material caro, es preciso tener la seguridad, ántes de emplearlo, de que ha de responder al servicio á que se le dedica.

En la recepción de los cementos interesa conocer su densidad, composición química, grado de molido, duración del fraguado, aumento de volúmen al fraguar, resistencia á la extensión y compresión, ya empleándolos puros, ya, como es más general, mezclándolos con arena; y como las resistencias son función del tiempo, debe conocerse la influencia de éste en aquéllas.

Influye también de modo considerable en la calidad de un cemento el grado de cocción. En los cementos poco cocidos el grano es más fino, y sucede comunmente que presentan resistencias á la extensión y compresión, muy grandes al principio, pero que disminuyen considerablemente con la edad.

Si del exámen de la calidad de un cemento pasamos al de las cualidades que han de reunir los morteros de cemento y los hormigones, encontramos un gran número de circunstancias influyentes, como son la cualidad del agua, de la arena y de la piedra, proporciones de estos materiales y del cemento, manipulaciones, colocación de obra, etc.

De todo esto se deduce la necesidad de redactar pliegos de condiciones muy detallados para la recepción de este material, de vigilar su fabricación, de hacer análisis químicos y experiencias mecánicas que comprueben las cualidades que se exigen y de hacer estudios constantes para determinar los detalles de manipulación y de construcción de macizos de hormigón de cemento.

En todas partes, el Cuerpo de Ingenieros civiles ha dedicado preferente atención á este asunto, y buena prueba de ello son los pliegos de condiciones facultativas reglamentarios en las diversas naciones para la adquisición de cemento con destino á las obras públicas, en algunos de los cuales hasta se exige que un funcionario de la Administración vigile la fabricación en todos sus detalles en los establecimientos que han de suministrar estos productos al Estado.

Si esta necesidad es reconocida en obras públicas, creemos innecesario demostrar que existe también en las obras de defensa, en las que

han de emplearse cantidades enormes de hormigón de cemento. Es más: como las condiciones á que ha de satisfacer este material en las construcciones militares son algo diferentes de las que se buscan en las civiles, es cada vez más necesario un estudio de cementos y hormigones destinados á aquella clase de obras, y así lo han comprendido los ingenieros militares de todos los países.

En Francia, Alemania, Rusia, Bélgica, Dinamarca, Rumanía, el Cuerpo de Ingenieros militares hace contínuos estudios y experiencias, establece laboratorios y gabinetes de ensayo de cementos y redacta minuciosos pliegos de condiciones facultativas para la recepción de estos materiales.

Es de lamentar que en nuestro país no exista aún nada de esto, tanto más cuanto que las ventajas que reportarían han de ser bien sensibles, no solamente en la bondad de las obras, sino también en la economía de los presupuestos. Sería del mayor interés para el servicio del Estado que pudiésemos conocer el valor de nuestros cementos naturales, como material de obras de defensa; el partido que puede obtenerse de ellos en la confección de los hormigones, ya empleándolos puros para formar con arena los morteros, ya mezclándolos con morteros ordinarios para hidraulizarlos, ya haciendo uno de puzolanas.

Es de todo punto necesario redactar pliegos de condiciones facultativas para la adquisición de los cementos, naturales ó artificiales, de fraguado lento ó de fraguado rápido, determinar las cualidades que han de tener las arenas y la piedra, las proporciones más convenientes de estos elementos y los detalles de construcción de los macizos.

Finalmente, creemos indispensable el establecimiento de gabinetes de ensayo, que han de servir no solamente para comprobar las cualidades de los materiales consignadas en los pliegos de condiciones, sino también para realizar experiencias que conduzcan al esclarecimiento de las dudas que aún hoy existen en esta clase de estudios, experiencias que exigen cuidados minuciosos y muchos años, para obtener de ellas algún resultado.

En otros países no solamente existen gabinetes centrales de ensayo, sino que cada fortaleza en construcción tiene el suyo particular. Los de

esta última clase cuentan en Bélgica, Alemania, Holanda y Rumanía con el material siguiente:

Aparatos Michaëlis y Richter, el primero para las pruebas de tracción y el segundo para las de compresión.

Gradillas para moldear los ejemplares de ensayo, espátulas y paletas.

Tamices de 60 y 120 mallas por centímetro cuadrado, para arena, y de 900 y 5000 mallas por centímetro cuadrado para el cemento.

Aguja Vicat de 300 gramos.

Mesa con tabla de mármol ó de metal.

Balanza Roberval, con sus pesas.

Termómetro y reloj.

Colección de cajas de zinc y madera para conservar los ejemplares.

Los gastos de instalación no exceden de 1500 francos, cantidad bien pequeña por cierto.

Damos á este asunto tan grande importancia, que creemos de nuestro deber llamar la atención de la superioridad sobre él, en bien del servicio.

Madrid, 28 de Febrero de 1891.

Antonio Mayandía.

José Marvá y Mayer.

INDICE.

NUESTRA ARTILLERIA DE PLAZA.

ESTUDIO

SOBRE

NUESTRA ARTILLERÍA DE PLAZA.

(TANTEOS DE ARMAMENTO.)

POR

EL CORONEL GRADUADO, COMANDANTE DE INGENIEROS,

DON JOAQUIN DE LA LLAVE Y GARCÍA,

PROFESOR QUE HA SIDO DE ARTILLERÍA Y FORTIFICACIÓN

EN LA ACADEMIA ESPECIAL DEL CUERPO.

MADRID

Imprenta del Memorial de Ingenieros.

1892.

El autor de esta Memoria ha creído que podría ser útil á los oficiales del Cuerpo, que por desempeñar el cargo de comandante de Ingenieros de una plaza fuerte, forman parte de las Juntas mixtas locales de armamento, contar con datos acerca de las piezas de plaza que pueden constituir los artillados, ya que por experiencia sabe lo difícil que es reunirlos, si no precisamente acerca de las dimensiones y pesos, por lo menos en cuanto á los efectos que las diversas bocas de fuego pueden producir.

De paso, ya que se presentaban reunidos estos datos, ha parecido conveniente añadir un poco de discusión acerca del empleo de las diversas clases y calibres de las piezas en la defensa de las plazas, aprovechando la circunstancia de que el autor ha contribuído, por razón de su actual destino, á la redacción de varios dictámenes sobre tanteos de armamento de fuertes y fortalezas.

Se advierte que en esta Memoria no se trata más que de la artillería de plaza propiamente dicha, con exclusión de la de costa (*).

(*) Acerca de la artillería de costa, véanse los *Apuntes sobre defensa de las costas. Estudio de las baterías al descubierto*, escritos en colaboración con el coronel Roldán y publicados en 1888, y el *Suplemento* á la misma Memoria, publicado en 1891.

CAPITULO PRIMERO.

ARTILLERÍA DE PLAZA NORMAL.

Después de haber estado compuesta por largo tiempo nuestra artillería de plaza, de piezas heterogéneas, se vino hace tres años á adoptar un cuadro de piezas normal (1) al decidir en principio que las mismas piezas que habían de componer el tren de sitio, fuesen las destinadas al armamento de las plazas. Medida es esta muy justificada, pues las necesidades de uno y otro servicio son completamente análogas, teniendo que batir blancos en general muy semejantes.

Sabido es que tanto en el ataque como en la defensa de las plazas se emplean tres clases de tiro: 1.º, el *directo*, por trayectoria rasante y por lo tanto fuerte velocidad inicial; 2.º, el *indirecto*, por trayectoria algo curva, pero sin exagerar los ángulos de elevación, empleando velocidad media; 3.º, el *curvo*, por grandes ángulos y pequeñas velocidades, que toma el nombre de *vertical* cuando se emplean las máximas elevaciones. En el primer caso, se baten blancos que se presentan verticalmente y que hay que destruir atravesándolos; en el segundo, se dirige el tiro para que el proyectil pase rasando por encima de la masa cubridora y vaya á herir los objetos que ésta oculta; en el tercero, el tiro tiene por objeto repartir los proyectiles en una extensión horizontal, ya para que por explosión sus cascos produzcan efecto mortífero y destructor, ya para hundir cubiertas resistentes por la fuerza viva del choque, seguida de una explosión violenta que desorganice la construcción.

---

(1) Acta de la Junta especial de Artillería, número 125. Sesión de 23 de abril de 1889. Condiciones balísticas que deben reunir las piezas de artillería, según su aplicación en el servicio. Ponente el coronel D. Diego Ollero.

Para el tiro directo se emplean de ordinario los cañones, para el indirecto los obuses y para el curvo y vertical los morteros. Los cañones están caracterizados por una longitud que es, por lo ménos, de unos 20 calibres, aunque puede llegar á 35 ó 40, y el empleo de cargas que proporcionen una velocidad inicial de unos 400 metros por segundo lo ménos; los obuses de 10 á 15 calibres de longitud, emplean cargas variables, dando la mayor una velocidad inicial de unos 300 metros; en cuanto á los morteros, su longitud es de 6 á 10 calibres, y la velocidad, también variable con la carga, no excede de unos 200 metros.

Claro es, sin embargo, que entre ciertos límites las piezas pueden extender su uso: así reduciendo la carga de los cañones pueden éstos hacer un tiro indirecto, los obuses con la carga máxima pueden ejecutar tiro directo, que en ocasiones puede ser de ventajoso empleo, y en cambio reduciendo al mínimo la carga pueden suplir, hasta cierto punto, la falta de los morteros, y éstos con las cargas mayores y ángulos pequeños pueden emplearse en tiros indirectos. Sin embargo, conviene tener de las tres clases de piezas, que son las que de modo más conveniente llenan los servicios especiales.

En cada una de las tres clases no basta un sólo calibre, se necesitan por lo menos dos, uno para tirar contra los blancos más lejanos en la primera posición de la artillería sitiadora, ó contra los más resistentes aunque estén cerca, otro para tirar más especialmente contra la segunda posición.

La experiencia y el estudio han venido á producir la coincidencia de casi todas las artillerías de sitio y plaza en los calibres, pesos y condiciones balísticas. Así la nuestra, en analogía con las otras, tiene:

1.° Cañones..	de 15 centímetros con peso de 3 toneladas, proyectil de 35 kilógramos.	Ambos con velocidad inicial de 500 metros.
	de 12 centímetros con peso de 1 ½ toneladas, proyectil de 18 kilógramos.	
2.° Obuses. .	de 21 centímetros con peso de 3 toneladas, proyectil de unos 80 kilógramos.	Ambos con velocidad de 300 metros.
	de 15 centímetros con peso de poco más de 1 tonelada, proyectil de 35 kilógramos.. .	

3.º Morteros.	de 21 centímetros con peso de menos de 1 tonelada, proyectil de 80 kilógramos. . . .	Ambos con velocidad inicial de 200 metros.
	de 15 centímetros con peso de ½ tonelada, proyectil de 35 kilógramos.	

Estas seis piezas constituyen propia y esencialmente la artillería de plaza y sitio. Se les añaden, sin embargo, algunas otras, que son los cañones de campaña, por una parte, de gran utilidad en la defensa de las plazas, y por otra el mortero de 9 centímetros, que puede disparar el mismo proyectil del cañón pesado de campaña, siendo pieza ligerísima (2).

Una de las ventajas principales de este sistema de piezas es la reducción al mínimo de la variedad de los calibres. Así, con tres clases de proyectiles, de 12, 15 y 21, se sirven seis piezas, pues el de 15 puede servir para el cañón, obús y mortero, y el de 21 para el mortero y el obús.

Las piezas mencionadas datan de épocas distintas. La más antigua es el obús de 21, que fué proyectado en bronce ordinario desde 1874 para satisfacer la necesidad de esta pieza, demostrada en el sitio de Cartagena, y fué ensayado desde 1876 á 1880, época en que se pensó utilizar el bronce comprimido para su construcción, proyectándolo el coronel Plasencia, y siendo adoptado como reglamentario, después de varias pruebas y modificaciones, por Real orden de 18 de Diciembre de 1885.

El cañón de 12 centímetros también fué proyectado por el coronel Plasencia hacia la misma época; pero la experimentación de esta pieza ha sido larga, y no ha sido declarada reglamentaria hasta el 29 de Mayo de 1891.

El cañón de 15 centímetros fué proyectado por el coronel Verdes Montenegro en 1878, para ser construído con tubos combinados de varios metales; modificado el proyecto por tres veces, ha sido declarado reglamentario el tercer trazado con la misma fecha que el anterior.

Los morteros de 21, 15 y 9 son debidos exclusivamente á la iniciativa del comandante Mata, que fué quien primero sostuvo que no bastaba

(2) La artillería de sitio contará además, para casos excepcionales, con un mortero de 24 centímetros, de 1730 kilógramos de peso, con proyectil de 140 kilógramos; pero esta pieza no es necesaria para plaza, pues las baterías de sitio no tendrán nunca en sus repuestos y abrigos, blindajes tan resistentes que no baste para batirlos el mortero de 21 centímetros.—(Véase el *Suplemento* de 1891 á los *Apuntes sobre Defensa de las Costas.*)

con el obús de 21 para los dos servicios de obús y mortero. Los de 15 y 9 han sido adoptados por Reales órdenes de 16 de Marzo de 1891 y 18 de Enero de 1892. El de 21 no es aún reglamentario; pero es probable que lo sea en breve.

Lo mismo sucede con el obús de 15 centímetros, también proyectado por el comandante Mata, y con el de 21, que este jefe ha propuesto para substituir al del modelo 1885, tanto para mejorar las condiciones de esta pieza ya relativamente anticuada, como para armonizar mejor las propiedades balísticas de los dos obuses.

En cuanto á los cañones de campaña, el de acero largo de 8 centímetros de retrocarga, comprado á Krupp en 1868 y que hizo toda la guerra carlista, fué reformado en 1878, sunchándolo, agrandando la recámara y modificando ligeramente el rayado, con lo que mejoró considerablemente en condiciones balísticas. El de acero de 9 centímetros de retrocarga también fué comprado á Krupp en 1875, y á ambos se vinieron á agregar los de bronce comprimido, de los mismos calibres, adoptados en 1878 el de 9 y el de 8 en 1883. El de 8 centímetros de acero, proyecto Sotomayor, es pieza ligera para baterías á caballo, pero más potente que las otras de campaña; podría tener muy buena aplicación en las plazas, sobre todo si se adoptase un nuevo modelo como calibre único para la artillería de batalla, en cuyo caso quedarían disponibles las existentes para este empleo.

Todas las piezas, cañones de 8, 9, 12 y 15, obuses de 15 y 21, morteros de 9, 15 y 21 son de bronce comprimido (3), es decir, de bronce sometido á la operación llamada *mandrilado*, propuesta por el general de Artillería austriaco Uchatius, que dió el nombre de *bronce-acero* á lo que en España llamamos bronce comprimido, y que tal vez se pudiese llamar mejor bronce estirado. Los cañones de 12 y 15 llevan un tubo interior de bronce químico al 5 por 100, que tiene por objeto preservar la recámara y el principio del rayado de los efectos corrosivos de los gases de la pólvora. Las demás piezas no llevan este tubo.

El sistema de cierre es de cuña prismática en los cañones de bronce de 8 y 9 centímetros; de tornillo partido en todas las demás piezas. Los

(3) Con la excepción ya indicada de los de 8 y 9 Krupp y 8 Sotomayor, que son de acero sunchado.

cañones de 8 y 9 y obuses de 15 y 21 tienen el obturador de anillo metálico Piorkowski; los cañones de 12 y 15 llevan galleta plástica de amianto y sebo, ó sea obturador De Bange, siendo el cierre del modelo italiano. Los tres morteros tienen la recámara de la pólvora abierta en figura cilíndrica en la pieza de cierre, y el obturador es metálico; esta disposición ha sido ideada por el comandante Mata.

El rayado, uniforme en todas las piezas, es helizoidal ó de paso constante en los morteros y obuses, y progresivo en los cañones.

Los datos numéricos de las piezas se encuentran reunidos en la tabla siguiente:

		Cañón de 15 cm. Bc.		Cañón de 12 cm. Bc.	Cañones de 9 c	
		Primer trazado.	Segundo y tercer trazado.		Bc.	
Calibre exacto.	mm.	149,1	149,1	120	87	8
Longitud total de la pieza. .	mm.	3627	4200	3000	2064	210
Idem del ánima.	mm.	3403	4013	2846	1880	187
Idem de la parte rayada. . .	mm.	2749,5	3322,5	2208	1506	150
Recámara de la pólvora. Longitud. . .	mm.	579	636	576,4	210	21
Recámara de la pólvora. Diámetro. . .	mm.	160	160	133	98	9
Recámara de la pólvora. Volúmen.. . .	dm^3.	11,81	12,75	8	1,99	
Rayado.. . . Número de rayas. . . .		36	36	32	24	2
Rayado.. . . Profundidad.	mm.	1,5	1,5	1,5	1,25	
Rayado.. . . Paso final. . .	calibres.	30	30	28	45	4
Distancia del eje de muñones á la boca.	mm.	2287	2860	1833,5	1220	12
Diámetro máximo exterior..	mm.	462	462	369	246	25
Idem de la tulipa.	mm.	270	250	240	167	15
Peso total de la pieza.. . . .	kg.	3000	2950	1615	516	48
Idem del aparato de cierre. .	kg.	69	78	»	30	2

Cañones de 8 cm.			Obuses de 21 cm. Bc.		Obús	Mortero	Mortero	Mortero
Ac. — *Sotomayor.*	Ac. — *Reformado.*	Bc.	Modelo de 1885.	Proyecto *Mata.*	de 15 cm. Bc.	de 21 cm. Bc.	de 15 cm. Bc.	de 9 cm. Bc.
78,5	78,5	78,5	210	210	149,1	210	149,1	87
2215	1935	2024	2427	3090	2243	1633	1339	821
2041	1729	1854	2167,5	»	2071	1150	898	575
1700	1485,2	1593	1873,5	2404	1742	1150	898	575
314	217,5	182	259,7	396,3	292	293	314	142
90	82,6	91,4	217	220,6	155	150	100	65
1,99	1,18	1,569	9,6	15,144	5,527	5,2	2,47	0,4
16	12	24	50	50	36	50	36	24
0,55	1,25	1,25	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,25
20	48	30	25	36	41,3	25	41,3	45
1457	1213,8	1135	1543	2105	1575	1150	740	493
223	219	232	550	550	396	445	335	196
112	144	135	360	300	220	301	220	129,5
285	338	358	3010	3020	1180	815	437	81
8,3	29	26	125	»	»	»	67	»

Los PROYECTILES que habrán de disparar las piezas de sitio y plaza serán de los modelos siguientes:

Granada ordinaria.

Granada incendiaria.

Granada perforante (casi innecesaria en las plazas).

Granada de mina ó granada fogata (especialmente los obuses y morteros).

Shrapnel.

Bote de metralla (sólo los cañones y obuses).

Granada de iluminación (sólo los morteros).

La granada ordinaria con paredes relativamente gruesas, es el proyectil ordinario de batir. Lleva espoleta de percusión y carga interior de pólvora ordinaria.

La granada incendiaria, semejante á la anterior, lleva en la carga mixto incendiario y orificios para facilitar la salida del fuego.

La granada perforante, para batir corazas, tendrá principalmente aplicación en el ataque de una plaza, cuando ésta cuente con obras metálicas de gran resistencia.

La granada de mina, de paredes delgadas, tal vez de acero, estará destinada á llevar una gran carga interior, y sus efectos serán principalmente explosivos para la dispersión de tierras. La espoleta será probablemente retardatriz, para dejar penetrar el proyectil en el macizo antes de estallar. Si se adoptase para la carga interior, en vez de la pólvora ordinaria, un explosivo fuerte, como el piróxilo, se convertiría en *granada-torpedo*.

El shrapnel ó granada de metralla puede ser de carga central ó de diafragma ó carga posterior. Lleva un número considerable de balines y hace explosión por medio de la espoleta de tiempos, en un punto de la trayectoria, antes de llegar al blanco, arrojando contra éste los balines y cascos. Se emplea exclusivamente contra el personal, nunca contra obstáculos materiales.

El bote de metralla sólo puede dispararse por tiro rasante y á pequeñas distancias, nunca á más de un kilómetro, rara vez á más de 500 ó 600 metros.

La granada de iluminación tiene el objeto que su nombre indica.

Los cañones de campaña disparan además la granada de segmentos, granada ordinaria, cuyas paredes están organizadas de modo apropiado para facilitar la producción de muchos cascos.

La tabla siguiente da los datos numéricos de los proyectiles hasta ahora adoptados.

PROYECTILES.			8.	9.	12.	15.	21.
Diámetro exacto de la parte cilíndrica.		mm.	77,5	86,5	118,5	148	208,2
Granada ordinaria.. . .	Longitud. . . .	mm.	»	»	355	420	590
	Radio de la ojiva...	mm.	»	»	194	200	323
	Peso total.. . .	kg.	»	»	18	35	78,7
	Carga explosiva.	kg.	»	»	1,26	1,92	6,829
Granada ordinaria más pesada .	Longitud. . . .	mm.	291	»	»	»	»
	Radio de la ojiva.	mm.	305	»	»	»	»
	Peso total.. . .	kg.	6,3	»	»	»	90
	Carga explosiva.	kg.	0,30	»	»	»	»
Granada de segmentos .	Longitud. . . .	mm.	185	215	»	»	»
	Radio de la ojiva.	mm.	149	173	»	»	»
	Peso total.. . .	kg.	4,6	6,3	»	»	»
	Carga explosiva.	kg.	0,116	0,21	»	»	»
	Número de cascos. .		90	140	»	»	»
Shrapnel de carga central .	Longitud. . . .	mm.	143	188,8	»	»	»
	Radio de la ojiva.	mm.	»	134	»	»	»
	Peso total.. . .	kg.	4,85	7,1	»	»	»
	Carga explosiva.	kg.	0,01	0,02	»	»	»
	Número de balines..		90	90	»	»	»
	Peso de un balín	g.	11	11	»	»	»
	Diámetro de un balín..	mm.	14	14	»	»	»
Shrapnel de diafragma ó carga posterior. . .	Longitud. . . .	mm.	166,3	188,8	274	373,75	490
	Radio de la ojiva.	mm.	»	»	200	192,5	201
	Peso total.. . .	kg.	5,157	7,172	18	35	78,7
	Carga explosiva..	kg.	0,060	0,068	0,16	0,5	0,453
	Número de balines..		140	210	260	330	196
	Peso de un balín	g.	13	13	11	20	68,1
	Diámetro de un balín.	mm.	13,5	13,5	14	16	26
Bote de metralla.. . .	Longitud. . . .	mm.	163	219	»	334	»
	Peso total.. . .	kg.	3,425	5,685	»	35	»
	Número de balines..		48	91	»	225	»
	Peso de un balín	g.	35	35	»	118	»

MONTAJES. Al adoptar las piezas de sitio para el servicio de plaza, se ha creído conveniente adoptar también las cureñas de ruedas, con muñoneras altas, propias para tirar detrás de un parapeto, y al mismo tiempo movibles. En el capítulo IV discutiremos la conveniencia de esta clase de montajes.

Para los cañones de 12 centímetros se compraron algunas cureñas á la fábrica de Krupp; pero después se ha adoptado (R. O. de 10 de Octubre de 1891) la cureña proyecto Mata, que sirve indistintamente para el cañón de 12 y el obús de 15. El cañón de 15 tiene una cureña, proyecto del comandante Milán, y otra de este jefe y del teniente coronel Lerdo, servirá (R. O. de 29 de Septiembre de 1891), tanto para el obús de 21 centímetros, modelo 1885, como para la nueva pieza de este calibre, aún no adoptada.

Los datos principales de estas cuatro cureñas se encuentran á continuación:

CUREÑAS DE RUEDAS CON MUÑONERAS ALTAS.	C. 12 cm. — *Krupp.*	C. 12 cm. — *Mata.*	O. 15 cm. — *Mata.*	C. 15 cm. — *Milán.*	O. 21 cm. — *Lerdo-Milán.*
Altura del eje de muñones sobre la explanada. . . . mm.	1830	1840		1830	1536
Distancia horizontal del punto de apoyo de la contera al eje de las ruedas. . . . . mm.	2680	2780		2554	2244
Diámetro de las ruedas. . . mm.	1540	1560		1560	1560
Carril ó anchura exterior de rueda á rueda. . . . . mm.	1620	»		1600	1588
Angulo de elevación máximo de la pieza.	35°	36°	45°	36°	45°
Angulo máximo de depresión. .	5°	6°	6°	9°	6°
Peso de la cureña. . . . . kg.	1200	1270		2500	»

Los cañones de campaña tienen naturalmente cureñas especiales, cuyos datos son los siguientes:

CUREÑAS DE BATALLA.	Md. 1868. Rf. en 1880.	Md. 1880.	*Sotomayor.*	Md. 1830. Rf. en 1875.	Md. 1878.
Material	Madera.	Chapa.	Chapa.	Madera.	Chapa.
Piezas para que sirve	C. Ac. 8 cm. Rf. C. Bc. 8 cm.	C. Ac. 8 cm. Rf. C. Bc. 8 cm.	C. Ac. 8 cm. *Sotomayor.*	C. Ac. 9 cm. C. Bc. 9 cm.	C. Ac. 9 cm. C. Bc. 9 cm.
Altura del eje de muñones sobre el terreno mm.	1050	950	1060	1085	1080
Diámetro de las ruedas mm.	1310	1322	1322	1400	1390
Carril mm.	1385	1400	1375	1720	1630
Distancia de la parte anterior de las ruedas al plano de la boca de la pieza mm.	360 » 281	575 » 496	940	»	478 » 510
Distancia horizontal del eje de las ruedas á la contera mm.	2145	2014	1789	2370	2105
Ángulo máximo de elevación	17°	20°	15°	13°	26°
Idem de depresión máxima	5°	5°	5°	4°	13°
Peso de la cureña kg.	430	410	285	558	570
Idem de la pieza con cureña y accesorios kg.	780 » 800	760 » 780	608	1057 » 1036	1069 » 1098

Para los morteros se usarán afustes de rastra, que permiten tirar por grandes elevaciones. El obús de 21 tiene también un afuste de esta clase, aunque con marco, comprado á la fábrica de Seraing (Bélgica), que respondía á la intención de usar la pieza, no sólo en el tiro directo é indirecto, que le es propio, sino también en el curvo y hasta en el vertical por 60° de elevación. Habiendo hoy la idea de adoptar morteros de 21, los obuses se montarán en cureña de ruedas, como queda dicho.

He aquí los datos de los cuatro afustes:

AFUSTES DE RASTRA.	M. de 9 cm. — *Afuste Mata.*	M. de 15 cm. — *Afuste Mata.*	M. de 21 cm. — *Afuste Mata.*	O. de 21 cm. — *Afuste Seraing* con marco (provisional)
Altura del eje de muñones sobre la explanada. . . . mm.	320	620	800	1300
Longitud de la base del afuste. . . . . mm.	750	1290	1740	2383
Anchura máxima. . . . . mm.	»	500	»	900
Angulo máximo de elevación. .	60°	60°	60°	60°
Angulo mínimo.	20°	20°	20°	0°
Peso del afuste. . . . . kg.	65	320	830	1979
Campo de tiro horizontal. . . .	»	14°	»	38°

Datos balísticos. Para conocer con exactitud los servicios que cada pieza puede prestar, damos á continuación tablas de sus datos de tiro. Hemos utilizado y completado en lo que nos convenía las tablas de tiro ya adoptadas oficialmente, pero hemos tenido que calcular algunas (4).

La energía del proyectil da idea muy exacta de su potencia. Es la cantidad:

$$T = \frac{p}{2g} V^2_1,$$

en que p es el peso del proyectil en kilógramos,

g la gravedad $= 9{,}81$,

V_1 la velocidad remanente tangencial.

(4) Que son las del cañón y obús de 15 centímetros, tiro directo del obús de 21 y la del mortero de 21. Las dos de las piezas de 15 centímetros han sido deducidas de algunos datos de experiencia que conocemos con las mismas bocas de fuego. La del obús de 21 centímetros ha sido calculada tomando en cuenta los datos de la tabla provisional de tiro. La del mortero de 21 centímetros está calculada sólo con los datos iniciales.

La energía por centímetro de circunferencia del proyectil

$$T_1 = \frac{\frac{p}{2g} V^2_1}{\pi D},$$

y la energía por centímetro cúbico de la esfera del mismo diámetro que el proyectil,

$$T_3 = \frac{\frac{p}{2g} V^2_1}{\frac{\pi}{6} D^3},$$

en que π es la relación de la circunferencia al diámetro = 3,1416;

D el diámetro del proyectil *en centímetros*,

sirven para calcular la penetración del proyectil en hierro forjado por medio de las fórmulas

de Gâvre $\quad T_1 = 207{,}5\, s^{\frac{4}{3}}$

de Krupp $\quad T_3 = 150 \left(\frac{s}{D}\right)^{\frac{4}{3}}$

en que s es la penetración en centímetros.

El que llamamos *factor de penetración*, es la cantidad

$$\frac{p}{1000\, R^2} \log. \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{V_1}{100}\right)^2 \right]$$

siendo R el radio de la sección recta del proyectil *en metros*, que entra en la fórmula de penetración del capitán de la artillería italiana Parodi,

$$s = \gamma_1 \frac{p}{1000\, R^2} \log. \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{V_1}{100}\right)^2 \right]$$

Para obtener la penetración *calculada* en tierra, mampostería ó madera, no hay, pues, más que multiplicar el factor de penetración que da la tabla para la distancia correspondiente, por el coeficiente γ_1, que varía sólo con la naturaleza del medio.

Para las mamposterías el coeficiente oscila entre:

$\gamma_1 = 0{,}113$ para la mampostería antigua de piedra dura del castillo de Molina de Aragón (experiencias de Diciembre de 1860).

$\gamma_1 = 0{,}408$ para la mampostería de ladrillo.

Para las tierras, los valores extremos son:

$\gamma_1 = 0{,}764$ para la arena (experiencias italianas en 1883).

$\gamma_1 = 1{,}467$ para la tierra arcillosa.

Para las maderas:

$\gamma_1 = 0{,}554$ para la encina, haya y fresno.

$\gamma_1 = 1{,}060$ para el álamo.

Lo mejor sería deducir el valor de γ_1 tomando el término medio de los cocientes de varias *penetraciones experimentales*, obtenidas en el material de que se trate, divididas por los factores de penetración correspondientes. Con el valor de γ_1 encontrado así se podrían entonces calcular las penetraciones en el mismo medio con otras piezas y á distintas distancias (5).

Las zonas de 50 por 100 de los disparos en los tres sentidos *lateral*, *vertical* y *longitudinal*, sirven por medio de una tabla de *factores de probabilidad* para calcular la dispersión del tiro y el tanto por ciento que puede esperarse en blancos de dimensiones determinadas, ya sea con tiro centrado ó no centrado (6).

Como advertencia general recordaremos lo que ya en otra ocasión digimos (7), que los datos balísticos que hemos calculado no tienen el carácter de *tablas de tiro*, sino que sólo los presentamos para que puedan servir para apreciar el efecto de las piezas y que constituyan la base para la discusión que haremos en el capítulo IV.

---

(5) Véase para más detalles el capítulo XIV de la segunda edición de la *Balística abreviada* que se está publicando por pliegos en la *Revista Científico-militar* de Barcelona. La primera edición salió á luz en el MEMORIAL DE INGENIEROS de 1883; pero la actual ha sido completamente refundida.

(6) Véase el capítulo XIII de la misma obra.

(7) En los *Apuntes sobre defensa de las costas.—Estudio de las baterías al descubierto*, escrito en colaboración con el coronel Roldán y publicado en la *Colección de memorias* del MEMORIAL DE INGENIEROS de 1888, nota de la página 42.

DATOS *sobre el tiro directo del cañón Bc. 15 cm., Cc. con proyectil de 35 kg. y carga máxima de 8,8 kg. de pólvora prismática de 7 canales.—Velocidad inicial* 500 *m.* × 1″.

Distancias. — *Metros.*	Ángulos de elevación.	Ángulos de caida en grados.	Ángulos de caida por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — *Segundos.*	Velocidad remanente tangencial. — *m* × 1″	Energía del proyectil Total. — *Toneláметros*	Energía del proyectil por cm. de circunferencia. — *Toneláметros*	Energía del proyectil por cm.³ de la esfera de igual diámetro. — *Kilográmetrs*	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido lateral. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido vertical. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido longitudinal. — *Metros.*
500	0° 38′	0° 39′	0,0114	1,05	445,3	354,0	7,62	208	5,51	0,54	0,56	49,3
1000	1° 19′	1° 34′	0,0271	2,24	398,0	282,8	6,09	166	5,04	1,14	1,34	49,6
1500	2° 9′	2° 42′	0,0473	3,58	360,1	230,9	4,96	136	4,64	1,84	2,38	50,3
2000	3° 7′	4° 7′	0,0718	5,05	331,6	196,2	4,24	115	4,31	2,67	3,69	51,4
2500	4° 13′	5° 47′	0,1013	6,64	310,5	172,0	3,71	101	4,06	3,61	5,38	53,1
3000	5° 27′	7° 42′	0,1350	8,29	293,8	154,0	3,32	91	3,85	4,68	7,51	55,6
4000	8° 19′	12° 15′	0,2171	11,98	266,5	126,7	2,73	75	3,49	7,12	13,6	62,8
5000	11° 51′	18° 3′	0,3259	16,19	244,9	107,1	2,31	63	3,19	10,11	24,0	73,7
6000	15° 53′	24° 37′	0,4583	20,84	232,8	96,7	2,08	57	3,02	13,47	39,9	87,0
7000	20° 30′	31° 53′	0,6206	25,89	227,2	92,1	1,98	54	2,95	17,24	63,5	102,1
7618	24°	36° 55′	0,7512	29,67	229,6	94,0	2,03	55	2,97	20,01	84,6	112,6
8235	28°	42° 16′	0,9090	33,77	231,9	96,0	2,07	56	3,01	23,10	112,1	123,3
8674	32°	47° 14′	1,0815	37,73	236,6	99,9	2,15	59	3,08	26,08	142,8	132,0
9005	36°	51° 51′	1,2730	41,51	243,9	106,2	2,29	62	3,18	28,93	176,5	138,7

DATOS *sobre el tiro directo del cañón Bc. 12 cm., Cc. con la carga máxima de 5,6 kg. de pólvora prismática de 7 canales.—Velocidad inicial* 515 *m.* × 1″

Distancias. — *Metros.*	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — *Segundos.*	Velocidad remanente tangencial. — *m* × 1″	Energía del proyectil: Total. — *Tonelámetros*	Energía del proyectil: por cm. de circunferencia. — *Tonelámetros*	Energía del proyectil: por cm.³ de la esfera de igual diámetro. — *Kilográmetrs*	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: lateral. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: vertical. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: longitudinal. — *Metros.*
500	0° 31′	0° 36′	0,0106	0,96	469	201,9	5,42	233	5,60	0,30	0,25	23,6
1000	1° 17′	1° 22′	0,0240	2,15	424	165,0	4,43	190	5,18	0,62	0,55	23,0
1500	2° 2′	2° 20′	0,0423	3,38	380	132,6	3,56	153	4,74	1,02	1,10	26,0
2000	2° 58′	3° 40′	0,0642	4,80	347	110,5	2,97	129	4,38	1,50	1,85	28,9
2500	4° 2′	5° 10′	0,0905	6,45	320	94,0	2,52	108	4,07	2,12	2,70	29,8
3000	5° 13′	7° 20′	0,1287	8,15	296	80,4	2,16	93	3,79	2,86	3,70	28,8
3500	6° 31′	9° 50′	0,1703	9,92	282	73,5	1,97	85	3,61	3,76	4,70	27,6
4000	7° 57′	12° 20′	0,2186	11,70	272	67,9	1,82	78	3,48	4,74	5,75	26,5
4500	9° 27′	15° 4′	0,2692	13,75	260	62,1	1,67	72	3,33	5,90	7,00	26,0
5000	10° 57′	18° 10′	0,3265	15,95	250	57,4	1,54	66	3,18	7,45	8,60	26,4
6110	15°	22° 41′	0,4179	20,30	249	56,9	1,53	65	3,17	9,43	»	61,4
7180	20°	30° 16′	0,5835	25,84	241	53,5	1,44	62	3,07	12,46	»	84,2
8000	25°	37° 23′	0,7641	30,99	239	52,7	1,42	60	3,04	15,40	»	103,1
8630	30°	43° 46′	0,9578	35,82	242	53,9	1,45	62	3,08	18,22	»	118,1
9070	36°	50° 38′	1,2188	41,24	250	57,4	1,54	66	3,18	21,42	»	130,7

DATOS *sobre el tiro directo é indirecto de los cañones Ac. y Bc. de 9 cm., Cc. con granada de segmentos de 6,3 kg. de peso.*

Distancias. — Metros.	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — Segundos.	Velocidad remanente tangencial. — m × 1″	Energía del proyectil Total. — Tonelámetros	Energía del proyectil por cm. de circunferencia. — Tonelámetros	Energía del proyectil por cm.³ de la esfera de igual diámetro. — Kilográmetrs	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido lateral. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido vertical. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido longitudinal. — Metros.
Carga máxima (tiro directo) de 1,5 kg. de pólvora de 6 á 10 mm. Velocidad inicial 451 m. × 1″.												
500	0° 50′	0° 54′	0,0148	1,23	373	44,8	1,65	132,0	3,00	0,30	0,30	»
1000	1° 50′	2° 13′	0,0387	2,67	329	34,7	1,28	103,0	2,69	0,65	0,60	15,5
1500	3° 2′	3° 51′	0,0673	4,28	300	29,0	1,07	85,7	2,47	1,05	1,30	19,4
2000	4° 25′	5° 49′	0,1019	6,02	280	25,2	0,93	74,5	2,31	1,55	2,12	20,7
2500	5° 58′	8° 1′	0,1408	7,90	266	22,7	0,84	67,0	2,18	2,20	3,38	24,0
3000	7° 43′	10° 27′	0,1844	9,88	255	20,9	0,77	61,9	2,09	3,18	4,78	26,0
3500	9° 34′	13° 4′	0,2321	11,94	247	19,6	0,72	58,0	2,02	4,50	8,04	34,6
4000	11° 36′	15° 56′	0,2855	14,10	241	18,6	0,68	55,0	1,97	»	»	»
4500	13° 50′	18° 55′	0,3427	16,37	236	17,8	0,65	52,7	1,92	»	»	»
5000	16° 14′	22° 56′	0,4232	19,30	233	17,4	0,64	51,5	1,90	»	»	»
5720	20°	29° 50′	0,5733	22,92	214	14,7	0,54	48,0	1,72	»	»	»
6220	23°	33° 13′	0,6548	26,20	228	16,7	0,62	49,2	1,85	»	»	»
6340	26°	37° 53′	0,7780	28,53	231	17,2	0,63	50,9	1,88	»	»	»
Carga reducida (tiro indirecto) de 0,75 kg. de pólvora de 6 á 10 mm. Velocidad inicial 310 m. × 1″.												
500	1° 33′	1° 48′	0,0315	1,65	280	25,2	0,93	74,5	2,31	0,30	0,30	9,5
1000	3° 20′	3° 54′	0,0682	3,50	255	20,9	0,77	61,9	2,09	0,58	0,84	12,4
1500	5° 27′	6° 25′	0,1124	5,60	235	17,7	0,65	52,3	1,92	1,16	2,80	24,0
2000	7° 48′	9° 36′	0,1691	7,85	219	15,4	0,57	45,5	1,77	1,70	6,18	36,5
2500	10° 24′	13° 33′	0,2410	10,30	205	13,5	0,50	39,9	1,64	3,11	12,32	51,2
3000	13° 24′	18° 26′	0,3333	12,90	192	11,8	0,43	34,9	1,51	5,50	22,5	67,4

DATOS *sobre el tiro directo del cañón Ac. 8 cm. Sotomayor, con proyectil de 6,3 kg. y carga de 1,55 kg. de pólvora cúbica de 9 á 11 mm.—Velocidad inicial* 460 *m.* × 1″.

Distancias. — *Metros.*	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — *Segundos.*	Velocidad remanente tangencial. — *m* × 1″	Energía del proyectil Total. — *Tonelámetros*	Energía del proyectil por cm. de circunferencia. — *Tonelámetros*	Energía del proyectil por cm.³ de la esfera de igual diámetro. — *Kilográmetrs*	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido lateral. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido vertical. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido longitudinal. — *Metros.*
500	0° 43′	0° 47′	0,0137	1,15	411	54,4	2,22	224,0	4,04	0,42	0,39	28,5
1000	1° 33′	1° 47′	0,0312	2,43	371	44,2	1,80	182,0	3,72	0,51	0,65	20,9
1500	2° 30′	3° 5′	0,0539	3,85	337	36,5	1,49	151,0	3,40	0,73	1,06	19,6
2000	3° 37′	4° 41′	0,0819	5,41	309	30,7	1,25	127,0	3,16	1,02	1,58	19,2
2500	4° 52′	6° 39′	0,1166	3,11	285	26,1	1,06	108,0	2,92	1,43	2,20	18,8
3000	6° 29′	8° 57′	0,1575	8,96	266	22,7	0,93	93,8	2,72	1,91	2,96	18,7
3500	7° 57′	11° 46′	0,2083	10,98	250	20,1	0,82	83,0	2,66	2,56	4,65	22,4
4000	9° 47′	14° 58′	0,2673	13,16	235	17,7	0,72	73,0	2,40	3,98	8,85	33,1
4500	11° 53′	18° 41′	0,3382	15,54	225	16,3	0,66	67,2	2,28	»	»	»
5000	14° 29′	23° 20′	0,4313	18,16	216	15,0	0,61	62,0	2,16	»	»	»
5110	15°	24° 12′	0,4494	18,71	215	14,8	0,60	61,2	2,15	»	»	»

DATOS *sobre el tiro directo é indirecto del cañón Ac. de 8 cm. Rf., con granada de segmentos de 4,6 kg. de peso.*

Distancias. — *Metros.*	Ángulos de elevación.	Ángulos de caida: en grados.	Ángulos de caida: por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — *Segundos.*	Velocidad remanente tangencial. — *m × 1″*	Energía del proyectil: Total. — *Toneláimetros*	Energía del proyectil: por cm. de circunferencia. — *Toneláimetros*	Energía del proyectil: por cm.² de la esfera de igual diámetro. — *Kilográmetrs*	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: lateral. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: vertical. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: longitudinal. — *Metros.*
Carga máxima (tiro directo) de 1 kg. de pólvora de 6 á 10 mm. Velocidad inicial 445 m. × 1″.												
500	0° 47′	0° 56′	0,0163	1,25	367	31,5	1,28	130,0	2,72	0,38	0,33	20,3
1000	1° 50′	2° 20′	0,0403	2,72	317	23,5	0,96	97,0	2,36	0,77	0,80	19,6
1500	3° 8′	4° 15′	0,0743	4,41	280	18,4	0,75	76,0	2,10	1,46	1,60	20,6
2000	4° 42′	6° 42′	0,1175	6,32	252	14,9	0,61	61,6	1,88	2,28	2,82	24,0
2500	6° 31′	9° 44′	0,1715	8,43	230	12,4	0,51	51,2	1,71	3,50	6,81	39,8
3000	8° 41′	13° 14′	0,2352	10,77	212	10,5	0,43	43,4	1,55	4,88	9,84	41,8
3500	10° 13′	17° 56′	0,3237	13,35	197	9,2	0,37	38,0	1,42	6,36	15,0	45,6
4000	14° 11′	23° 2′	0,4252	16,23	183	7,8	0,32	32,3	1,29	8,50	22,6	53,0
4500	17° 43′	28° 38′	0,5461	19,45	173	7,0	0,28	28,9	1,20	»	»	»
4780	20°	31° 26′	0,6110	»	186	8,1	0,33	33,5	1,32	»	»	»
Carga de 0,8 kg. de pólvora de 6 á 10 mm. (tiro directo). Velocidad inicial 400 m. × 1″.												
500	1°	1° 11′	0,0206	1,29	340	27,1	1,10	112,0	2,52	»	»	»
1000	2° 26′	2° 47′	0,0485	2,76	304	21,6	0,83	89,1	2,30	»	»	»
1500	3° 55′	4° 48′	0,0839	4,41	277	18,0	0,73	74,4	2,08	»	»	»
2000	5° 43′	7° 14′	0,1268	6,15	253	15,0	0,61	62,0	1,91	»	»	»
2500	7° 50′	10° 5′	0,1777	8,01	232	12,6	0,51	52,1	1,74	»	»	»
3000	10° 13′	13° 21′	0,2373	10,11	213	10,6	0,43	43,8	1,56	»	»	»
3500	13° 1′	17° 2′	0,3084	12,46	198	9.2	0,37	38,0	1,43	»	»	»
4000	16° 11′	21° 8′	0,3864	15,06	184	7,9	0,32	32,6	1,30	»	»	»
4110	17°	22° 29′	0,4139	15,82	183	7,8	0,32	32,3	1,29	»	»	»
Carga reducida (tiro indirecto) de 0,5 kg. de pólvora de 6 á 10 mm. Velocidad inicial 300 m. × 1″.												
500	2°	2° 21′	0,0411	1,85	260	15,8	0,64	65,2	1,94	0,5	0,5	12,2
1000	4°	4° 43′	0,0840	3,8	228	12,1	0,49	50,0	1,68	1,5	2,0	23,8
1500	6° 12′	7° 42′	0,1352	5,95	207	10,0	0,41	41,3	1,51	3,05	5,4	40,0
2000	8° 39′	11° 12′	0,1930	8,4	191	8,5	0,35	35,1	1,37	5,4	6,4	32,4
2500	11° 36′	16°	0,2367	11,0	178	7,4	0,30	30,6	1,25	8,8	15,5	54,0
3000	15°	22° 18′	0,4101	13,9	170	6,8	0,28	28,1	1,18	13,1	37,0	90,0

La carga de 1 kg. se emplea cuando el cañón está montado en la cureña de chapa, md. 1880; la de 0,8 kg. cuando lo está en la de madera, md. 1868, Rf. en 1880.

DATOS *sobre el tiro directo é indirecto del cañón Bc. de 8 cm., Cc. con granada de segmentos de 4,6 kg. de peso.*

Distancias. — *Metros.*	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — *Segundos.*	Velocidad remanente tangencial. — *m × 1″*	Energía del proyectil: Total. — *Tonelámetros*	Energía del proyectil: por cm. de circunferencia. — *Tonelámetros*	Energía del proyectil: por cm.³ de la esfera de igual diámetro. — *Kilográmetrs*	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: lateral. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: veltical. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: longitudinal. — *Metros.*
Carga máxima (tiro directo) de 1,25 kg. de pólvora de 6 á 10 mm. Velocidad inicial 483 m. × 1″.												
500	0° 43′	0° 49′	0,0143	1,17	385	34,8	1,42	144,0	2,82	0,23	0,27	18,9
1000	1° 39′	2° 6′	0,0367	2,57	334	26,2	1,07	108,0	2,52	0,62	0,75	20,4
1500	2° 49′	3° 46′	0,0658	4,16	301	21,2	0,86	87,3	2,26	1,11	1,23	18,5
2000	4° 11′	5° 53′	0,1031	6,92	274	17,6	0,72	72,8	2,08	1,66	2,24	21,6
2500	5° 46′	8° 21′	0,1468	8,84	254	15,1	0,61	62,4	1,91	2,38	3,46	23,5
3000	7° 36′	11° 13′	0,1983	10,91	240	13,5	0,55	55,8	1,78	3,69	5,30	26,6
3500	9° 38′	14° 20′	0,2555	13,14	228	12,2	0,50	50,4	1,69	5,51	8,59	33,3
4000	11° 56′	18° 3′	0,3259	15,53	219	11,2	0,46	46,3	1,60	8,07	13,89	40,5
4500	14° 31′	21° 29′	0,3936	18,11	210	10,3	0,42	42,6	1,56	»	»	»
5000	17° 27′	29° 5′	0,5562	20,90	203	9,7	0,39	40,1	1,48	»	»	»
5350	20°	31° 16′	0,6073	»	197	9,0	0,37	37,3	1,42	»	»	»
Carga de 0,88 kg. de pólvora de 6 á 10 mm. (tiro directo). Velocidad inicial 400 m. × 1″.												
500	1°	1° 11′	0,0206	1,29	340	27,1	1,10	112,0	2,52	»	»	»
1000	2° 26′	2° 47′	0,0485	2,76	304	21,6	0,88	89,1	2,30	»	»	»
1500	3° 55′	4° 48′	0,0839	4,41	277	18,0	0,73	74,4	2,08	»	»	»
2000	5° 43′	7° 14′	0,1268	6,15	253	15,0	0,61	62,0	1,91	»	»	»
2500	7° 50′	10° 5′	0,1777	8,01	232	12,6	0,51	52,1	1,74	»	»	»
3000	10° 13′	13° 21′	0,2373	10,11	213	10,6	0,43	43,8	1,56	»	»	»
3500	13° 1′	17° 2′	0,3084	12,46	198	9,2	0,37	38,0	1,43	»	»	»
4000	16° 11′	21° 8′	0,3864	15,06	184	7,9	0,32	32,6	1,30	»	»	»
4110	17°	22° 29′	0,4139	15,82	183	7,8	0,32	32,3	1,29	»	»	»
Carga reducida (tiro indirecto) de 0,625 kg. de pólvora de 6 á 10 mm. Velocidad inicial 320 m. × 1″.												
500	1° 30′	1° 42′	0,0297	1,65	280	18,4	0,75	76,0	2,12	0,26	0,82	10,5
1000	3° 24′	4°	0,0699	3,60	252	14,9	0,61	61,6	1,91	0,66	1,65	19,5
1500	5° 30′	6° 39′	0,1166	5,60	229	12,3	0,50	50,9	1,69	1,28	2,50	28,0
2000	8°	10° 24′	0,1835	8,00	209	10,2	0,41	42,2	1,52	2,28	6,50	35,5
2500	10° 48′	15° 30′	0,2773	10,40	192	8,6	0,35	35,5	1,39	3,61	11,8	42,5
3000	14° 12′	21° 30′	0,3939	13,50	175	7,2	0,29	29,8	1,22	5,50	19,3	49,0

La carga de 1,25 kg. se emplea cuando el cañón está montado en la cureña de chapa, md. 1880; la de 0,88 kg. cuando lo está en la de madera, md. 1868, Rf. en 1880.

DATOS *sobre el tiro directo del obús Bc. 21 cm., Cc. mod. 1885, con proyectil de 78,7 kg. y carga máxima de 7 kg. de pólvora prismática de 7 canales.—Velocidad inicial* 310 *m.* × 1″.

Distancias. — *Metros.*	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — *Segundos.*	Velocidad remanente tangencial. — *m* × 1″	Energía del proyectil Total. — *Tonelámetros*	Energía del proyectil por cm. de circunferencia. — *Tonelámetros*	Energía del proyectil por cm.² de la esfera de igual diámetro. — *Kilográmetrs*	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido lateral. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido vertical. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido longitudinal. — *Metros.*
500	1° 31′	1° 42′	0,0303	1,65	297	353,8	5,40	74,5	5,30	0,46	0,52	17,7
1000	3° 6′	3° 29′	0,0609	3,46	286	328,1	5,02	69,2	5,10	0,94	1,15	18,9
1500	4° 46′	5° 22′	0,0939	5,29	277	307,8	4,71	65,1	4,95	1,44	1,97	20,9
2000	6° 32′	7° 26′	0,1304	7,20	268	288,1	4,41	60,9	4,79	1,97	3,09	23,7
2500	8° 22′	9° 45′	0,1718	9,15	259	269,1	4,12	56,9	4,62	2,55	4,62	26,9
3000	10° 20′	12° 19′	0,2184	11,21	252	254,7	3,89	53,8	4,49	3,10	6,67	30,6
3500	12° 23′	15° 8′	0,2705	13,71	245	240,8	3,69	51,0	4,35	3,71	9,35	34,5
4000	14° 45′	18° 11′	0,3235	16,72	238	227,2	3,48	48,1	4,23	4,40	12,90	39,2
4500	17° 31′	21° 36′	0,3959	19,22	232	215,9	3,31	45,6	4,09	5,20	17,60	44,5
5000	20° 38′	25° 28′	0,4763	21,72	227	206,7	3,16	43,6	4,01	6,09	23,90	50,2
5500	24° 11′	29° 48′	0,5727	24,71	222	197,7	3,02	41,8	3,91	7,08	32,20	56,1
6000	28° 15′	34° 59′	0,6998	28,10	220	194,1	2,97	41,0	3,86	8,18	43,40	62,0
6500	33° 31′	42° 11′	0,9061	32,70	220	194,1	2,97	41,0	3,86	9,55	60,30	68,0
6850	42° 30′	52° 30′	1,3032	39,50	223	199,5	3,05	42,2	3,92	11,68	95,50	73,2

Datos *sobre el tiro indirecto del obús Bc. de 21 cm. Cc., md. 1885, con proyectil de 78,7 kg. y cargas reducidas.*

Distancias. — Metros.	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — Segundos.	Velocidad remanente tangencial. — m × 1''	Energía del proyectil Total. — Toneládmetros	Energía del proyectil por cm. de circunferencia. — Tonelametros	Energía del proyectil por cm.^{3} de la esfera de igual diámetro. — Kilogrametrs	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido lateral. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido vertical. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido longitudinal. — Metros.
Carga de 5 kg. de pólvora prismática de 7 canales. Velocidad inicial 252 m. × 1''.												
1000	4° 30′	4° 50′	0,0842	4,20	237,7	226,9	3,47	47,8	4,22	0,80	1,30	15,4
1500	7°	7° 36′	0,1334	6,30	230,7	213,7	3,27	45,0	4,08	1,29	2,40	18,0
2000	9° 38′	10° 34′	0,1865	8,60	224,2	201,9	3,09	42,5	3,95	1,84	4,00	21,4
2500	12° 26′	13° 50′	0,2468	11,05	218,0	191,2	2,92	40,3	3,81	2,45	6,45	26,4
3000	15° 38′	17° 38′	0,3178	13,70	212,7	181,7	2,78	38,3	3,71	3,13	9,90	31,2
3500	19° 10′	21° 56′	0,4026	16,40	208,0	173,7	2,66	36,6	3,62	3,92	14,50	36,1
4000	23° 10′	26° 52′	0,5066	19,40	203,7	166,6	2,55	35,2	3,54	4,86	20,90	41,1
4500	28° 22′	33° 12′	0,6543	23,30	200,8	161,8	2,47	34,1	3,46	6,02	30,70	46,8
5000	38° 42′	44° 8′	0,9701	30,00	200,1	160,7	2,46	34,0	3,45	7,48	52,00	53,7
Carga de 3 kg. de pólvora prismática de 7 canales. Velocidad inicial 185 m. × 1''.												
1000	8° 23′	9°	0,1580	5,60	174,0	122,1	1,87	25,9	2,89	1,18	2,20	13,9
1500	13° 21′	14° 24′	0,2561	8,60	169,9	115,7	1,77	24,4	2,81	2,00	4,80	18,7
2000	18° 59′	20° 26′	0,3725	12,15	165,5	109,8	1,68	23,1	2,71	2,90	9,50	25,5
2500	25° 59′	28° 28′	0,5422	16,90	162,5	105,8	1,62	22,4	2,64	3,96	18,80	34,7
3000	41° 27′	46°	1,0350	23,85	160,5	103,3	1,58	21,8	2,60	5,38	41,80	40,4

DATOS *sobre el tiro directo del obús Bc. 21 cm., Cc. proyecto Mata, con proyectil de 90 kg. y carga máxima de 9 kg. de pólvora prismática de 7 canales.—Velocidad inicial* 320 *m.* × 1″.

Distancias. — *Metros.*	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — *Segundos.*	Velocidad remanente tangencial. — *m* × 1″	Energía del proyectil Total. — *Tonelámetros*	Energía del proyectil por cm. de circunferencia. — *Tonelámetros*	Energía del proyectil por cm.³ de la esfera de igual diámetro. — *Kilográmetrs*	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido lateral. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido vertical. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido longitudinal. — *Metros.*
500	1° 26′	1° 29′	0,0258	1,60	307,5	435	6,64	92,0	6,29	»	»	»
1000	2° 56′	3° 4′	0,0537	3,23	296,5	403	6,15	85,2	6,06	»	»	»
1500	4° 29′	4° 51′	0,0848	4,90	286,5	377	5,77	79,8	5,87	»	»	»
2000	6° 10′	6° 47′	0,1189	6,82	277,0	352	5,38	74,4	5,69	»	»	»
2500	7° 56′	8° 58′	0,1579	8,67	268,2	330	5,04	69,9	5,50	»	»	»
3000	9° 51′	11° 18′	0,1997	10,66	260,1	311	4,75	65,8	5,32	»	»	»
4000	13° 56′	16° 31′	0,2965	14,86	245,8	277	4,23	58,6	5,01	»	»	»
5000	18° 55′	23° 7′	0,4269	19,77	234,6	253	3,87	53,7	4,77	»	»	»
6000	24° 55′	31° 2′	0,6017	25,85	227,7	238	3,64	50,5	4,61	»	»	»
7000	34° 45′	42° 56′	0,9303	34,91	229,6	242	3,70	51,1	4,66	»	»	»
7265	45°	53° 34′	1,3543	42,40	237,8	260	3,97	55,0	4,85	»	»	»

Como se trata de una pieza en proyecto no se han podido llenar las columnas que habían de dar los anchos de las zonas de 50 por 100 de los disparos; pero puede asegurarse que la precisión del tiro será superior á la del obús modelo 1885, por las mejores condiciones del rayado progresivo y por los varios perfeccionamientos introducidos en la disposición del ánima y del proyectil.

El alcance máximo por unos 42° ó 43° de elevación, será de 7300 m. próximamente.

DATOS *sobre el tiro directo del obús Bc. de 15 cm. Cc.* (*), *con proyectil de 35 kg. y carga máxima de 3,5 kg. de pólvora prismática de 7 canales.—Velocidad inicial* 318 *m.* × 1″.

Distancias. — Metros.	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — Segundos.	Velocidad remanente tangencial. — m × 1″	Energía del proyectil: Total. — Tonelámetros	Energía del proyectil: por cm. de circunferencia. — Tonelámetros	Energía del proyectil: por cm.³ de la esfera de igual diámetro. — Kilográmetrs	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: lateral. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: vertical. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: longitudinal. — Metros.
500	1° 30′	1° 31′	0,0265	1,61	299,5	160,2	3,45	94	3,92	0,69	0,72	27,2
1000	3° 1′	3° 16′	0,0571	3,36	285,2	145,5	3,13	85	3,74	1,39	1,69	29,7
1500	4° 45′	5° 19′	0,0930	5,18	269,4	129,5	2,78	76	3,54	2,18	3,17	34,0
2000	6° 36′	7° 38′	0,1340	7,13	256,1	116,9	2,52	68	3,36	3,02	5,34	39,8
2500	8° 38′	10° 15′	0,1807	9,17	244,2	106,4	2,29	63	3,19	3,94	8,48	46,9
3000	10° 50′	13° 15′	0,2354	11,63	233,4	97,3	2,10	57	3,04	4,95	12,80	54,4
4000	16° 7′	20° 39′	0,3770	16,37	216,1	83,4	1,79	49	2,78	7,29	28,10	74,6
5000	23° 1′	30° 17′	0,5841	22,47	204,9	75,0	1,62	44	2,61	10,28	57,10	97,8
6000	34° 21′	45°	0,9998	31,69	206,0	75,7	1,63	44	2,63	14,84	124,80	124,8

(*) En la página 10 se ha dicho que esta pieza no es todavía reglamentaria; pero posteriormente á la impresión del primer pliego de esta Memoria se ha publicado la Real orden de 3 de Junio de 1892, en que se adopta con el expresado carácter.

DATOS *sobre el tiro indirecto del obús Bc. de 15 cm., Cc. con proyectil de 35 kg. y cargas reducidas.*

Distancias. — Metros.	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — Segundos.	Velocidad remanente tangencial. — m × 1″	Energía del proyectil Total. — Tonelámetros	Energía del proyectil por cm. de circunferencia. — Tonelámetros	Energía del proyectil por cm.³ de la esfera de igual diámetro. — Kilográmetrs	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido lateral. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido vertical. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido longitudinal. — Metros.
Carga de 2,5 kg. de pólvora prismática de 7 canales. Velocidad inicial 263 m. × 1″.												
1000	4° 19′	4° 34′	0,0798	3,97	242,4	104,8	2,26	62	3,17	1,35	1,94	24,3
1500	6° 41′	7° 15′	0,1273	6,11	232,5	96,5	2,08	57	3,03	2,09	3,94	31,0
2000	9° 15′	10° 18′	0,1818	8,37	223,8	89,3	1,93	52	2,90	2,89	7,08	39,0
2500	12° 4′	13° 48′	0,2455	10,80	215,3	82,8	1,78	49	2,78	3,76	11,80	48,1
3000	15° 11′	17° 45′	0,3202	13,41	208,0	77,1	1,66	45	2,66	4,71	18,60	58,0
4000	22° 52′	27° 43′	0,5253	19,56	196,2	68,7	1,48	40	2,48	6,99	42,10	80,1
Carga de 1,5 kg. de pólvora prismática de 7 canales. Velocidad inicial 194 m. × 1″.												
1000	8°	8° 27′	0,1486	5,43	178,8	57,1	1,23	34	2,20	1,36	3,62	24,4
1500	12° 35′	13° 37′	0,2424	8,43	172,0	52,8	1,14	31	2,10	2,13	8,67	35,8
2000	17° 51′	19° 46′	0,3593	11,78	166,4	49,4	1,06	29	2,01	3,00	17,30	48,2
2500	24° 22′	27° 29′	0,5201	15,73	162,0	46,8	1,01	27	1,94	4,04	32,00	61,6

DATOS *sobre el tiro del mortero Bc. 21 cm., Cc. con proyectil de 78,7 kg., ángulos fijos y cargas variables.*

Carga de proyección. — Kilógramos.	Velocidad inicial correspondiente. — m×1″	Alcances. — Metros.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Flecha ú ordenada máxima de la trayectoria. — Metros.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — Segundos.	Velocidad remanente tangencial. — m × 1″	Energía total del proyectil. — Tonelámetros.	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido lateral. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido longitudinal — Metros.
		Ángulo de proyección constante : 20°.									
0,75	85,3	464	20° 17′	0,3696	42,6	5,9	83,0	27,7	0,96	»	»
1,00	101,4	645	20° 24′	0,3716	59,4	6,95	97,8	38,5	1,19	»	»
1,25	115,9	845	20° 31′	0,3742	77,5	8,05	110,2	48,8	1,53	»	»
1,50	129,3	1045	20° 39′	0,3769	97	8,9	121,6	59,5	1,79	»	»
1,75	141,8	1250	20° 47′	0,3796	116	9,8	131,9	69,8	2,02	»	»
2,00	153,7	1460	20° 56′	0,3826	136	10,6	141,0	79,9	2,23	»	»
2,25	164,9	1660	21° 4′	0,3853	156	11,3	149,8	90,0	2,42	»	»
2,50	175,6	1860	21° 12′	0,3879	176	12,0	157,6	99,6	2,60	»	»
2,75	186,0	2070	21° 21′	0,3909	196	12,8	165,0	109,5	2,77	»	»
3,00	196,0	2280	21° 30′	0,3939	217	13,3	172,0	118,6	2,93	»	»
3,25	205,6	2480	21° 40′	0,3973	236	13,9	178,4	128,0	3,07	»	»
3,50	215,0	2690	21° 49′	0,4003	256	14,5	182,5	134,0	3,16	»	»
		Ángulo de proyección constante : 30°.									
0,75	85,3	633	30° 37′	0,5918	92	8,6	82,4	27,2	0,94	»	»
1,00	101,4	885	30° 52′	0,5977	129	10,3	96,7	37,5	1,24	»	»
1,25	115,9	1120	31° 8′	0,6040	165	11,7	109,0	47,7	1,50	»	»
1,50	129,3	1395	31° 24′	0,6104	207	13,0	120,0	57,8	1,75	»	»
1,75	141,8	1650	31° 40′	0,6168	246	14,2	129,9	67,6	1,98	»	»
2,00	153,7	1925	31° 57′	0,6237	289	15,3	138,7	77,0	2,18	»	»
2,25	164,9	2180	32° 13′	0,6302	329	16,4	146,9	86,6	2,37	»	»
2,50	175,6	2450	32° 30′	0,6371	371	17,4	154,1	95,4	2,53	»	»
2,75	186,0	2720	32° 47′	0,6440	416	18,4	161,1	104,3	2,69	»	»
3,00	196,0	2990	33° 4′	0,6510	458	19,3	167,8	112,9	2,83	»	»
3,25	205,6	3240	33° 20′	0,6577	496	20,2	173,6	121,0	2,97	»	»
3,50	215,0	3500	33° 37′	0,6646	540	21,0	179,3	129,2	3,10	»	»

Datos *sobre el tiro del mortero Bc. de 21 cm. Cc., con proyectil de 78,7 kg., ángulos fijos y cargas variables.*—(Continuación.)

Carga de proyección. — Kilógramos.	Velocidad inicial correspondiente. — m × 1″	Alcances. — Metros.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Flecha ú ordenada máxima de la trayectoria. — Metros.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — Segundos.	Velocidad remanente tangencial. — m × 1″	Energía total del proyectil. — Tonelámetros.	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido lateral. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido longitudinal — Metros.
		Ángulo de proyección constante : 45°.									
0,75	85,3	714	45° 53′	1,0313	181	12,0	82,6	27,4	0,95	»	»
1,00	101,4	995	46° 14′	1,0440	254	14,3	97,0	37,8	1,25	»	»
1,25	115,9	1280	46° 35′	1,0569	329	16,3	109,4	48,1	1,51	»	»
1,50	129,3	1580	46° 57′	1,0705	408	18,2	120,3	58,2	1,74	»	»
1,75	141,8	1870	47° 18′	1,0837	487	19,95	130,1	68,0	1,98	»	»
2,00	153,7	2180	47° 41′	1,0983	569	21,6	139,0	77,7	2,19	»	»
2,25	164,9	2465	48° 3′	1,1126	647	23,1	147,4	87,3	2,37	»	»
2,50	175,6	2750	48° 25′	1,1270	726	24,3	154,6	95,9	2,53	»	»
2,75	186,0	3040	48° 47′	1,1416	809	25,7	161,9	105,0	2,70	»	»
3,00	196,0	3325	49° 8′	1,1558	892	27,0	168,6	114,0	2,86	»	»
3,25	205,6	3610	49° 29′	1,1701	973	28,3	174,5	122,2	2,98	»	»
3,50	215,0	3890	49° 50′	1,1847	1082	29,4	180,4	130,8	3,12	»	»
		Ángulo de proyección constante : 60°.									
0,75	85,3	593	60° 45′	1,7856	260	14,4	83,0	27,7	0,96	»	»
1,00	101,4	870	61° 5′	1,8103	385	17,7	97,5	38,2	1,26	»	»
1,25	115,9	1110	61° 21′	1,8304	494	20,0	110,1	48,7	1,52	»	»
1,50	129,3	1365	61° 39′	1,8534	612	22,3	121,6	59,4	1,79	»	»
1,75	141,8	1610	61° 57′	1,8768	726	24,2	132,0	70,0	2,02	»	»
2,00	153,7	1865	62° 15′	1,9007	844	26,3	141,2	80,0	2,24	»	»
2,25	164,9	2110	62° 32′	1,9237	965	28,1	149,8	90,0	2,42	»	»
2,50	175,6	2355	62° 50′	1,9486	1082	29,7	157,8	100,0	2,60	»	»
2,75	186,0	2605	63° 8′	1,9740	1202	31,4	165,0	109,3	2,77	»	»
3,00	196,0	2850	63° 25′	1,9985	1321	32,9	172,0	118,8	2,93	»	»
3,25	205,6	3085	63° 42′	2,0234	1441	34,3	178,6	128,0	3,10	»	»
3,50	215,0	3325	63° 59′	2,0488	1565	35,8	184,8	136,9	3,21	»	»

Datos *sobre el tiro del mortero Bc. de 15 cm. Cc., con proyectil de 35 kg., ángulos fijos y cargas variables.*

Carga de proyección. — Kilógramos.	Velocidad inicial correspondiente. — $m \times 1''$	Alcances. — Metros.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Flecha ú ordenada máxima de la trayectoria. — Metros.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — Segundos.	Velocidad remanente tangencial. — $m \times 1''$	Energía total del proyectil. — Tonelámetros.	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido lateral. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido longitudinal. — Metros.
		Angulo de proyección constante : 20°.									
0,4	86	450	20° 5′	0,3656	42,3	5,8	85	12,9	0,86	2,0	15,9
0,6	108	718	20° 12′	0,3679	62,5	7,3	106	20,0	1,23	2,4	18,6
0,8	119	1029	20° 21′	0,3709	97	8,7	125	28,0	1,60	2,9	22,3
1,0	150	1380	21° 1′	0,3842	130	10,4	137	33,5	1,85	4,6	27,7
1,2	169	1720	21° 18′	0,3899	164	11,6	151	40,8	2,11	5,9	34,5
1,4	187	2060	21° 36′	0,3959	196	12,7	163	47,5	2,35	7,3	41,4
1,6	203	2400	21° 53′	0,4017	228	13,7	173	53,4	2,54	8,5	48,2
1,7	210	2550	22° 1′	0,4043	245	14,1	178	56,7	2,64	9,1	51,2
		Angulo de proyección constante : 30°.									
0,4	86	626	30° 10′	0,5813	90	8,2	85	12,9	0,86	2,3	17,5
0,6	108	1022	30° 23′	0,5863	147	11,0	106	20,0	1,23	2,8	22,2
0,8	119	1416	30° 42′	0,5937	205	13,0	124	27,5	1,59	3,4	26,9
1,0	150	1671	31°	0,6009	246	14,1	143	36,6	1,96	3,8	30,0
1,2	169	2325	31° 40′	0,6168	347	16,8	155	43,0	2,19	4,8	37,8
1,4	187	2797	32° 16′	0,6314	422	18,5	168	50,4	2,38	5,5	43,5
1,6	203	3229	32° 48′	0,6444	493	20,0	177	56,0	2,62	6,2	48,7
1,7	210	3428	33° 2′	0,6502	523	20,7	182	59,0	2,71	6,4	50,0
		Angulo de proyección constante : 45°.									
0,4	86	706	46° 15′	1,0446	179	12,1	82	12,0	0,80	2,4	18,5
0,6	108	1100	46° 43′	1,0618	284	15,3	101	18,2	1,15	3,0	23,2
0,8	119	1574	47°	1,0724	408	18,2	120	25,8	1,51	3,7	28,9
1,0	150	2075	47° 17′	1,0831	539	21,0	137	33,5	1,85	4,5	34,9
1,2	169	2596	47° 48′	1,1029	679	23,1	152	41,3	2,13	5,2	41,1
1,4	187	3091	48° 32′	1,1316	817	25,8	165	48,6	2,39	5,9	47,1
1,6	203	3576	48° 54′	1,1464	954	27,8	176	55,2	2,60	6,7	52,9
1,7	210	3807	49° 9′	1,1565	1023	28,8	181	58,5	2,70	7,1	55,6
		Angulo de proyección constante : 60°.									
0,4	86	599	61° 52′	1,8703	269	14,8	80	11,4	0,77	2,1	16,2
0,6	108	921	62° 24′	1,9129	419	18,4	98	17,2	1,09	2,7	21,0
0,8	119	1281	62° 31′	1,9224	584	21,7	116	24,0	1,43	3,5	25,4
1,0	150	1726	62° 34′	1,9265	786	25,3	136	33,0	1,82	3,9	30,6
1,2	169	2156	62° 50′	1,9486	991	28,4	152	41,2	2,13	4,6	35,8
1,4	187	2610	63° 8′	1,9740	1203	31,4	165	48,6	2,39	5,4	41,3
1,6	203	3053	63° 28′	2,0028	1420	34,0	177	55,9	2,62	5,9	46,6
1,7	210	3218	63° 35′	2,0131	1499	35,5	182	59,1	2,71	6,2	48,5

DATOS *sobre el tiro del mortero Bc. de 9 cm., Cc. con proyectil de 6,3 kg., ángulos fijos y cargas variables.*

Carga de proyección. — *Kilógramos.*	Velocidad inicial correspondiente. — *m × 1″*	Alcances. — *Metros.*	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Flecha ú ordenada máxima de la trayectoria. — *Metros.*	Tiempos ó duración de la trayectoria. — *Segundos.*	Velocidad remanente tangencial. — *m × 1″*	Energía total del proyectil. — *Toneládmetros.*	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido lateral. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido longitudinal. — *Metros.*
		Ángulo de proyección constante : 20°.									
0,1	78	373	20° 36′	0,3759	34,8	5,3	74	1,74	0,35	1,1	30
0,2	116	740	20° 9′	0,3669	73,1	7,4	114	4,15	0,72	1,5	32
0,3	175	1632	23° 46′	0,4403	151	11,4	135	5,80	0,94	2,9	25
0,37	219	2140	27° 13′	0,5143	229	13,6	145	6,70	1.04	5,4	64
		Ángulo de proyección constante : 30°.									
0,1	78	507	31° 9′	0,6044	75,3	7,8	73	1,70	0,34	1,3	32
0,2	116	1013	30° 17′	0,5840	156,5	10,9	114	4,15	0,72	2,2	38
0,3	175	2071	36° 19′	0,7350	337	16,5	130	5,39	0,89	3,6	33
0,37	219	2617	41° 12′	0,8755	464	19,3	131	5,47	0,90	6,3	78
		Ángulo de proyección constante : 45°.									
0,1	78	571	46° 31′	1,0544	148	10,9	73	1.70	0,34	1,6	34
0,2	116	1180	45° 22′	1,0129	316	15,5	114	4.15	0,72	2,8	45
0,3	175	2294	53° 10′	1,3351	658	23,2	132	5,55	0,91	5,8	74
0,37	219	2829	57° 20′	1.5597	882	26,8	138	6,08	0.97	9.2	86
		Ángulo de proyección constante : 60°.									
0,1	78	505	61° 6′	1,8115	224	13,4	73	1,70	0,34	2,5	32
0,2	116	1059	60° 20′	1,7556	481	19,1	114	4,15	0,72	7,1	38
0,3	175	1932	66°	2,2460	957	28,2	134	5,72	0,93	9,7	50
0.37	219	1755	72° 44′	3,2172	1037	30,4	152	7,37	1,11	14,4	52

Para completar los datos anteriores con todos los que pueden ser necesarios para apreciar el efecto del tiro, falta la estimación del efecto explosivo de los proyectiles. El cálculo, por medio de una fórmula empírica (5), da para las *granadas ordinarias* el siguiente resultado:

Granada ordinaria de.	8 cm.	8 cm. (Sotomayor.)	9 cm.	12 cm.	15 cm.	21 cm.
Peso total del proyectil cargado.. kg.	4,6	6,3	6,3	18	35	78,7
Carga explosiva. . kg.	0,116	0,30	0,21	1,26	1,92	6,829
Volúmen del embudo medio en tierra ordinaria. m.³	0,00233	0,003	0,00581	0,1028	0,3333	2,762

Para apreciar el efecto de los shrapnels, conviene conocer la velocidad propia que por explosión adquieren los balines. El cálculo hecho por otras fórmulas empíricas (6) da este resultado:

Shrapnel de carga central. . .	de 8 cm.	14,9	metros por segundo en sentido normal á la trayectoria.
	de 9 cm.	15,3	
Shrapnel de diafragma. . . .	de 8 cm.	89,8	metros por segundo en sentido de la trayectoria.
	de 9 cm.	82,7	
	de 12 cm.	127,6	
	de 15 cm.	192,3	
	de 21 cm.	136,7	

Con estos valores se puede determinar la abertura del *cono de explosión* del shrapnel por las fórmulas:

$$\tfrac{1}{2}\,\delta = \text{arc. tg.}\ \frac{\sqrt{u^2 + w^2}}{V_e}$$ para el shrapnel de carga central,

$$\tfrac{1}{2}\,\delta = \text{arc. tg.}\ \frac{u}{V_e + w}$$ para el shrapnel de diafragma ó carga posterior,

siendo:

(5) Véase el capítulo XV de la nueva edición de la *Balística abreviada*, fórmula [1]. Nótese que hemos presentado la fórmula con toda clase de reservas y sólo como un primer ensayo.

(6) Véase el capítulo XVI de la misma obra.

δ ángulo en el vértice del cono de explosión,

u velocidad máxima que adquieren los balines por causa de la rotación del proyectil,

w velocidad máxima (radial ó longitudinal) que adquieren los balines por causa de la explosión,

V_e velocidad remanente tangencial que llevaba el proyectil entero en el punto en que estalla.

La velocidad u es igual

$$u = V\, tg\, \eta,$$

en que V es la velocidad inicial del proyectil, η la inclinación de las rayas de la pieza

$$tg\, \eta = \frac{\pi}{n}$$

π es la relación de la circunferencia al diámetro, n el paso de las rayas en calibres.

La velocidad V_e habrá que calcularla para el punto correspondiente, con arreglo al intervalo de explosión que se suponga (7).

Hay que observar que los shrapnels de 12, 15 y 21 centímetros, que pesan lo mismo que las granadas respectivas, tienen igual velocidad y puede suponérseles idéntica trayectoria. No sucede lo mismo con los de 8 y 9 centímetros; empleando las mismas cargas de proyección que con las granadas, son las velocidades:

Shrapnel de carga central. .	de 8 cm., carga de 1 kg. en el C. Ac. 8 cm. Rf.	450 *m.* × 1″
	de 8 cm., carga de 1,25 kg. en el C. Bc. 8 cm.	487
	de 9 cm., carga de 1,5 kg. en los C. Ac. y Bc. 9 cm.	423
Shrapnel de diafragma. . . .	de 8 cm., carga de 1 kg. en el C. Ac. 8 cm. Rf.	435
	de 8 cm., carga de 1,25 kg. en el C. Bc. 8 cm.	473
	de 9 cm., carga de 1,5 kg. en los C. Ac. y Bc. 9 cm.	423

(7) Véase la *Balística abreviada.*

Shrapnel de carga central. .	de 9 cm., carga de 0,1 kg. en el mortero Bc. 9 cm. .	71
	de 9 cm., carga de 0,2 kg. en el mortero Bc. 9 cm. .	106
	de 9 cm., carga de 0,3 kg. en el mortero Bc. 9 cm. .	160
	de 9 cm., carga de 0,37 kg. en el mortero Bc. 9 cm. .	200

CAPÍTULO SEGUNDO.

ARTILLERÍA DE PLAZA DE RETROCARGA, QUE YA NO SE FABRICA.

En el período transcurrido desde 1867, en que se adoptó la carga por la culata para las piezas de campaña, hasta 1880 en que se formularon las primeras bases de la nueva artillería de sitio y plaza, se fueron adoptando varias piezas, propias para el armamento de las plazas fuertes, unas designadas desde luego para este servicio, otras que destinadas primitivamente á otros, al ser substituidas por nuevos modelos, se les da ó se les dará probablemente esta aplicación. Contamos con cinco de estas piezas.

1.° El cañón de 10 centímetros de bronce ordinario y de retrocarga fué adoptado en 1871 para las baterías pesadas de campaña, llamadas entonces *baterías de posición*, y tomó parte en las operaciones de la guerra carlista, principalmente en los combates de Somorrostro, en Febrero, Marzo y Abril de 1874. También se empleó en los sitios de Cartagena (1873) y La Guardia (1874).

Es de bronce ordinario, se fabricaba en Sevilla, su cierre de cuña cilindro-prismática Krupp de acero con obturador metálico. Lleva rayas *cuneiformes* para proyectil de envuelta de plomo, el cual es de los de envuelta pesada, análogo al del cañón de Ac. 8 largo Krupp comprado en 1868.

Substituído por los cañones de 9 cm. en el servicio de campaña y por los de 12 cm. en los parques de sitio, hoy está asignado á la dotación de varias plazas. Naturalmente, ya no se fabrica.

2.° El cañón de 8 cm. de acero, corto, de retrocarga, llamado vulgarmente *cañón Plasencia*, fué adoptado en 1874 para las baterías de montaña y tiró ya en Marzo de dicho año en Somorrostro y en Agosto

en Cataluña. Todavía forma la dotación de los regimientos de artillería de montaña, pero llamado á ser substituído por otra pieza (8), puede considerarse probable que las actuales se destinen como piezas ligeras á algunas plazas.

El cañón es de acero Krupp, construído con tubos comprados á la fábrica de Essen, su cierre es de tornillo partido ó francés con obturador de platillo metálico. Lleva rayas cuneiformes para proyectil con envuelta de plomo. Las primitivas granadas eran de envuelta pesada, las mismas del cañón largo de acero, mod. 1868; poco después se adoptaron las de envuelta ligera.

3.° El cañón de 14 cm. de bronce ordinario. Es el antiguo cañón liso de 13 cm. (calibre de 16 libras), transformado. Primeramente, hacia 1866 ó 1868, se pensó en rayar este cañón al calibre de 14 cm., conservando la carga por la boca, como se había hecho con los de 15 cm. (24 libras), transformados en 16 cm.; después se creyó mejor que fuese de retrocarga. Las primeras piezas transformadas tienen cierre de cuña cilindro-prismática, que después se substituyó por el de tornillo partido con obturador de platillo. Rayas cuneiformes. Todos los cañones de cuña están en las plazas; los de tornillo forman parte de los trenes de sitio, pero pasarán á las plazas cuando puedan ser substituídos por las piezas de 12 y obuses de 15.

4.° Para tener en el ataque de las plazas una pieza más potente que

(8) Existen, que sepamos, tres proyectos: uno del capitán Sangran, otro del capitán Aguirre y un tercero del comandante Milán y capitán Diez, aparte de otro del primero, especial para Filipinas. Los datos de estas tres piezas son los siguientes:

		Cañón de 8 cm. Sangrán.	*Cañón de 8 cm. Aguirre.*	*Obús(*) de 9 cm. Milán-Diez.*
Calibre exacto	mm.	78,5	78,5	87
Longitud total	mm.	1186	1337	1076,5
Peso total	kg.	100	100	87
Peso del proyectil	kg.	4,6 » 5,5	4,6	6,355
Velocidad inicial	$m \times 1''$	300 » 270	370	300

La adopción está pendiente, según creemos, de lo que se resuelva sobre el cañón de calibre único de campaña, cuyo estudio está confiado al coronel Sotomayor.

La pieza futura, destinada á las baterías de montaña, no es probable que se asigne á la dotación de las plazas; para este objeto quedará disponible entonces la Plasencia.

(*) No vemos justificado que se llame *obús* á esta pieza si no se las llama también á las otras y á la Plasencia. Por sus dimensiones y sus condiciones balísticas son todas *cañones* ó todas obuses.

el cañón de 16 cm. de avancarga, empleado en el sitio de Cartagena, se compraron en 1875 á la fábrica Krupp algunos cañones de acero sunchados de 15 cm. (creemos que fueron 20), de los cuales cuatro tiraron á principios de 1876 contra Estella desde el Monte Esquinza y contra las líneas carlistas frente á San Sebastián.

Es, como se ha dicho, de acero sunchado, con cierre de cuña cilindro-prismática y anillo obturador Broadwell. Las rayas son *uniformes* para proyectil de aros de cobre.

Cuando sean substituídos estos cañones por los de 15 cm. de bronce comprimido, es probable que se les destine al armamento de alguna plaza.

5.° El cañón de 15 cm. de hierro rayado y sunchado, de retrocarga, fué adoptado en 1878 y está evidentemente inspirado en el anterior. Primitivamente en 1874 se pensaba que fuese de 16 cm., con rayas cuneiformes y proyectil de envuelta; después se redujo el calibre á 15 cm. y se adoptaron las rayas uniformes. Los cuatro primeros cañones fabricados tiran el mismo proyectil que el cañón de acero; después se varió la recámara para que el proyectil fuese conducido por una única *banda de forzamiento*. El cierre es de tornillo partido y el obturador el anillo Broadwell.

Es pieza sobrado pesada para su potencia, y ya no se fabrica, siendo substituída por el cañón de bronce comprimido de 15 cm., en las plazas, y por el Ordóñez, de hierro entubado, en las costas.

Los datos relativos á las piezas los damos á continuación:

			CAÑONES DE RETROCARGA.				
			Ac. de 15 cm. (*Krupp*).	H. R. S. de 15 cm.	B. R. de 14 cm. transformado del liso de 13.	B. R. de 10 cm.	Ac. de 8 cm. corto (*Plasencia*).
Calibre exacto.		mm.	149,1	149,1	140	100	78,5
Longitud total de la pieza.		mm.	3598,3	3685,8	2974,7	2069	1011
Longitud del ánima.		mm.	3193	3456	2793	1809	840
Longitud de la parte rayada.		mm.	2531	2898	2314	1500	610
Recámara de la pólvora.	Longitud.	mm.	590,3	522	427,1	257	190
	Diámetro.	mm.	154,3	155,3	145	105	82,6
	Volúmen.	dm.³	8,30	9,95	5,15	1,68	0,76
Rayas.	Número.		36	36	24	16	12
	Profundidad. . . .	mm.	1,7	1,6	1,6	1,5	1,25
	Paso final.	calibres	51	51	56	45	38
Distancia del eje de muñones á la boca.		mm.	2237	2312,4	1669	1230	450
Diámetro máximo exterior.		mm.	570	597	448	289	200
Diámetro de la tulipa		mm.	240,4	300	323	208	122
Peso total de la pieza.		kg.	3070	4500	2000	630	102
Peso del aparato de cierre.		kg.	127	44	29	60	6

N. B. Los cañones de 14 con cierre de cuña tienen de longitud de ánima 2221,8; el cierre pesa 84 kilógramos y la pieza 2055 kilógramos.

Los datos relativos á los proyectiles son los siguientes:

			CALIBRES.			
			15.	14.	10.	8.
Diámetro del cuerpo cilíndrico..		mm.	148	140	100	78,5
Granada ordinaria.. . .	Longitud total. . .	mm.	380 „ 375	280	200	162,5
	Radio de la ojiva..	mm.	172 „ 200	146,5	85	75
	Peso total.	kg.	28,3	19,15	8,38	4,36 „ 3,62
	Carga explosiva. .	kg.	1,9	1,2	0,38	0,200
Granada de doble pared. .	Longitud total. . .	mm.	»	»	»	160,5
	Radio de la ojiva..	mm.	»	»	»	136
	Peso total.	kg.	»	»	»	3,88
	Peso de la carga explosiva.	kg.	»	»	»	0,2
Granada de segmentos..	Longitud total. . .	mm.	»	»	»	160,5
	Radio de la ojiva..	mm.	»	»	»	136
	Peso total.	kg.	»	»	»	3,808
	Carga explosiva. .	kg.	»	»	»	0,2
Shrapnel de carga central.	Longitud total. . .	mm.	»	»	»	143
	Radio de la ojiva..	mm.	»	»	»	»
	Peso total.	kg.	»	»	»	4,67
	Carga explosiva. .	kg.	»	»	»	0,01
	Número de balines. . . .		»	»	»	90
	Diámetro de un balín.	mm.	»	»	»	14
	Peso de un balín. .	kg.	»	»	»	0,011
Bote de metralla. . . .	Longitud total. . .	mm.	»	»	215	163
	Peso total.	kg.	»	»	8	3,34
	Número de balines. . . .		»	»	48	48
	Diámetro de un balín.	mm.	»	»	30	21
	Peso de un balín. .	kg.	»	»	0,10	0,044

Observaciones. 1.ª—Del calibre de 15 cm. hay dos granadas ordinarias, una con aros de cobre (ambos de forzamiento) para el C. Ac. de 15 cm. y otra de bandas de cobre (una de forzamiento y otra de apoyo) para el C. H. R. S. de 15 cm.

2.ª—La granada de 14 cm. es de envuelta de plomo ligera ó soldada; la de 10 cm. es de envuelta pesada ó encastrada.

3.ª—Del calibre de 8 cm. hay dos granadas ordinarias, una de en-

vuelta pesada (peso 4,36 kilógramos) que fué substituída por otra de envuelta ligera (peso 3,62 kilógramos). La primera es modelo de 1868; la segunda de 1873.

4.ª—Las granadas de 8 cm. de doble pared (modelo 1875) y de segmentos (modelo 1878) son ambas de envuelta ligera, lo mismo que el shrapnel.

Respecto á los montajes, he aquí los principales datos:

CUREÑAS DE SITIO DE RUEDAS Y MUÑONERAS ALTAS.	C. Ac. de 15 mod. 1875.	C. B. R. de 14 mod. 1881.	C. B. R. de 14 mod. 1846. Rf. 76.
Material de que están construídas.	Chapa.	Chapa.	Madera.
Altura del eje de muñones. . . . . mm.	1826	1860	»
Diámetro de las ruedas. . . . . mm.	1560	1560	1380
Distancia del punto de apoyo de las ruedas á la contera. . . . . mm.	2800	2700	»
Carril. . . . . mm.	1630	1610	1625
Angulo de elevación máximo.	35°	30°	27°
Angulo de depresión máximo.	10°	17°	6°
Peso total de la cureña. . . . . kg.	1500	1234	1101

El cañón de 10 cm. se monta en la cureña modelo 1830, reformado en 1871, ó sea en la misma de madera que sirve para el cañón de 9 cm., cuyos datos hemos dado en la página 18.

El cañón de 8 cm. corto tiene cureña de montaña de chapa, modelo 1874, reformado en 1876, cuyos datos son:

Altura del eje de muñones.	675 mm.
Distancia del punto de apoyo de las ruedas á la contera.	1144 mm.
Diámetro de las ruedas.	900 mm.
Carril.	830 mm.
Peso de la cureña.	162,5 kg.
Ángulo máximo de elevación de la pieza.	24° 12′
Ángulo de depresión máxima.	8° 57′

El cañón de hierro sunchado de 15 cm. tiene cureña de chapa, modelo 1878, de plaza, que puede colocarse en dos marcos distintos: uno bajo para casamata ó parapeto con cañoneras, modelo 1878, y otro alto para barbeta, adoptado en 1887. El primero es de perno central; el segundo tiene el punto de giro entre las ruedas, aunque no es completamente central, sino un poco adelantado. Lleva freno hidráulico. Los datos principales son:

	Montaje bajo.	Montaje alto.
Altura del eje de muñones sobre la explanada.. . . . . mm.	1310	2110
Longitud del marco. . . . . mm.	3344	3320
Altura del marco en testera. . . . . mm.	400	1150
Inclinación del marco..	4°	4°
Distancia del eje de giro á la testera del marco.. . . . . mm.	410	1050
Radio medio de la primera carrilera. mm.	800	810
Su anchura. . . . . mm.	200	200
Radio medio de la segunda carrilera. mm.	2900	1650
Su anchura. . . . . mm.	150	150
Angulo de elevación máximo que puede tomar el cañón.	21°	21°
Ángulo de depresión máximo.	11° 30′	5°
Campo de tiro horizontal que permiten los carriles.	76°	122°
Peso de la cureña.. . . . . kg.	770	770
Peso del marco.. . . . . kg.	970	»

El cañón de bronce de 14 cm. se ha montado en las plazas sobre cureña de madera modelo 1857, reformado en 1881, que se coloca sobre marco explanada, modelo 1864 núm. 1, reformado en 1881. Este montaje, bajo y de perno frontal, sólo es propio para casamata y parapeto con cañoneras. Sus datos son los que á continuación se expresan:

Altura del eje de muñones sobre la explanada.	1400 mm.
Longitud del marco.	4000 mm.
Altura del marco en testera.	380 mm.
Inclinación del marco..	5°

Distancia del eje de giro á la testera del marco.	550 mm.
Radio medio de la primera carrilera.	800 mm.
Su anchura..	120 mm.
Radio medio de la segunda carrilera.	2270 mm.
Su anchura..	120 mm.
Radio medio de la tercera carrilera. .	3835 mm.
Su anchura..	120 mm.
Ángulo de elevación máximo del cañón.	15°
Angulo de depresión máximo.	4°
Peso de la cureña.	670 kg.
Peso del marco..	465 kg.

Datos balísticos. Á continuación se encuentran los datos sobre el efecto del tiro de las cinco piezas descritas:

DATOS *sobre el tiro directo del cañón Ac. de 15 cm. Cc. Krupp, con proyectil de 28,3 kg. y carga de 6,2 kg. de pólvora prismática de 7 canales.—Velocidad inicial* 477 *m.* × 1″.

Distancias. — *Metros.*	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — *Segundos.*	Velocidad remanente tangencial. — *m* × 1″	Energía del proyectil Total. — *Toneláметros*	Energía del proyectil por cm. de circunferencia. — *Toneláметros*	Energía del proyectil por cm.² de la esfera de igual diámetro. — *Kilográmetrs*	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido lateral. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido vertical. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido longitudinal. — *Metros.*
500	0° 48′	0° 50′	0,0146	1,18	410	242,7	5,22	143,0	5,04	0,23	0,19	5,8
1000	1° 36′	1° 50′	0,0320	2,42	362	189,2	4,07	111,0	4,55	0,52	0,42	8,4
1500	2° 34′	3° 10′	0,0553	3,84	324	151,6	3,26	89,0	4,12	0,82	0,71	9,9
2000	3° 41′	4° 50′	0,0845	6,42	298	128,2	2,76	76,0	3,80	1,15	1,05	11,2
2500	5°	6° 53′	0,1207	7,15	276	110,0	2,37	64,8	3,54	1,53	1,45	13,1
3000	6° 29′	9° 14′	0,1626	9,00	260	97,6	2,10	57,4	3,32	1,98	1,92	16,1
3500	8° 4′	11° 44′	0,2077	10,94	249	89,5	1,93	52,7	3,16	2,52	2,49	21,6
4000	9° 43′	14° 25′	0,2575	12,94	243	85,3	1,84	50,1	3,08	3,24	3,54	30,2
4500	11° 31′	17° 21′	0,3123	15,01	238	81,8	1,76	48,2	3,02	»	»	»
5000	13° 33′	20° 41′	0,3774	17,24	233	78,4	1,69	46,3	2,95	»	»	»
6000	19° 14′	30° 13′	0,5828	23,07	221	70,6	1,52	41,5	2,78	»	»	»
7000	27° 24′	42° 21′	0,9115	30,84	222	71,2	1,53	41,9	2,80	»	»	»
7550	35°	51° 31′	1,2580	37,48	233	78,4	1,69	46,2	2,95	»	»	»

A este mismo cañón se le ha asignado recientemente el proyectil de 35 kilógramos del cañón de bronce comprimido. En tal caso tendremos los siguientes:

DATOS *sobre el tiro directo é indirecto del cañón Ac. de 15 cm. Krupp, con proyectil de 35 kg. y varias cargas.*

Distancias. — Metros.	Ángulos de elevación.	Ángulos de caida en grados.	Ángulos de caida por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — Segundos.	Velocidad remanente tangencial. — m × 1″	Energía del proyectil: Total. — Tonelámetros	Energía del proyectil: por cm. de circunferencia. — Tonelámetros	Energía del proyectil: por cm.² de la esfera de igual diámetro. — Kilográmetrs	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: lateral. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: vertical. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: longitudinal. — Metros.
	Carga de 8 kg. de pólvora prismática de 7 canales. Velocidad inicial 460 m. × 1″.											
500	0° 40′	0° 44′	0,013	1,12	422	319,0	6,86	188,0	6,37	0,25	0,15	4,5
1000	1° 32′	1° 42′	0,029	2,38	390	272,0	5,85	160,0	5,98	0,68	0,40	8.2
1500	2° 25′	2° 46′	0,049	3,76	360	231,5	4,98	136,0	5,60	1,20	0,65	10,8
2000	3° 24′	4° 3′	0,071	5,21	336	201,3	4,32	118,5	5,26	2,00	1,00	12,8
2500	4° 30′	5° 38′	0,099	6,73	317	179,4	3,86	105,6	4,99	2,80	1,40	14,2
3000	5° 42′	7° 25′	0,130	8,32	302	163,0	3,51	95,9	4,77	3,90	1,90	15,2
4000	8° 27′	11° 29′	0,203	11,87	282	142,1	3,06	83,7	4,46	6,40	3,20	17,0
5000	11° 39′	16° 6′	0,289	15,74	264	122,4	2,64	72,1	4,16	»	»	»
6000	15° 24′	21° 24′	0,392	20,05	250	111,6	2,39	65,4	3,94	»	»	»
7000	19° 49′	28° 17′	0,538	24,97	245	106,8	2,30	62.9	3,86	»	»	»
8000	27° 14′	39° 14′	0,816	32,36	240,5	103,5	2,23	60,8	3,78	»	»	»
8700	35°	48° 37′	1,135	39,71	250	111,6	2,39	65,4	3,94	»	»	»
	Carga de 6 kg. de pólvora prismática de 7 canales. Velocidad inicial 400 m. × 1″.											
500	0° 54′	1°	0,017	1,30	369	243,5	5,25	143,0	5,71	0,28	0,32	87,5
1000	1° 56′	2° 12′	0,038	2,72	344	212,0	4,55	124,3	5,38	0,60	0,70	14,2
1500	3° 6′	3° 36′	0,063	4,22	323	186,5	4,01	109,8	5,09	1,11	1,10	17,9
2000	4° 22′	5° 7′	0,090	5,82	308	169,4	3,64	99,5	4,85	1,72	1,52	20,0
2500	5° 41′	6° 51′	0,120	7,49	295	155,5	3,34	91,3	4,65	2,46	2,04	21,7
3000	7° 8′	8° 52′	0,156	8,90	285	144,7	3,12	85,1	4,51	3,26	2,70	23,2
4000	10° 26′	13° 24′	0,238	13,03	268	128,3	2,76	75,7	4,24	5,40	4,84	25,3
5000	14° 14′	18° 30′	0,335	17,20	251	112,3	2,41	66,2	3,93	»	»	»
6000	18° 43′	24° 26′	0,454	21,90	238	101,2	2,17	59,6	3,74	»	»	»

	Carga de 5 kg. de pólvora prismática de 7 canales. Velocidad inicial 355 m. × 1″.											
1000	2° 28′	2° 43′	0,047	3,08	314	176,1	3,79	103,9	4,94	0,56	0,85	17,6
1500	3° 51′	4° 19′	0,075	4,67	300	160,7	3,47	94,6	4,74	1,00	1,25	21,0
2000	5° 20′	6° 5′	0,105	6,35	290	150,1	3,23	88,2	4,57	1,57	1,78	23,5
2500	6° 55′	7° 58′	0,140	8,14	280	140,0	3,01	82,3	4,43	2,17	2,42	25,5
3000	8° 35′	10° 4′	0,177	10,01	271	131,1	2,82	77,2	4,28	2,90	3,12	27,1
4000	12° 21′	14° 51′	0,264	14,01	255	116,3	2,51	68,5	4,02	4,95	5,07	29,4
	Carga de 4 kg. de pólvora prismática de 7 canales. Velocidad inicial 312 m. × 1″.											
1000	3° 3′	3° 18′	0,057	3,36	288	148,1	3,19	87,0	4,55	0,52	1,00	21,0
1500	4° 44′	5° 12′	0,091	5,14	278	138,0	2,97	81,1	4,40	0,97	1,50	24,5
2000	6° 29′	7° 15′	0,127	7,00	270	130,2	2,81	76,6	4,26	1,42	2,05	27,0
2500	8° 19′	9° 26′	0,166	8,91	262	122,6	2,64	72,1	4,13	1,98	2,80	29,2
3000	10° 20′	11° 47′	0,208	10,86	254	115,1	2,47	67,6	4,00	2,60	3,55	30,9
4000	14° 59′	17° 23′	0,313	15,31	240	102,8	2,21	60,5	3,76	4,50	5,30	33,7
4800	19° 19′	22° 40′	0,417	12,85	230	94,5	2,04	55,6	3,60	»	»	»

N. B. Los datos de esta tabla pueden servir para apreciar el efecto del tiro indirecto del cañón de bronce comprimido de 15 cm., pues dispara el mismo proyectil y puede suponerse que se obtendrán las mismas velocidades con las cargas respectivamente de 7,64, 6,07, 4,97 y 4,01 kilógramos.

DATOS *sobre el tiro directo del cañón H. R. S. de 15 cm., Cc. con proyectil de 28,3 kg. y carga de 7 kg. de pólvora prismática de 7 canales.—Velocidad inicial* 475 *m.* × 1″.

Distancias. — Metros.	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — Segundos.	Velocidad remanente tangencial. — m × 1″	Energía del proyectil: Total. — Tonelámetros	Energía del proyectil: por cm. de circunferencia. — Tonelámetros	Energía del proyectil: por cm.³ de la esfera de igual diámetro. — Kilográmetrs	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: lateral. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: vertical. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: longitudinal. — Metros.
500	0° 40′	0° 43′	0,0126	1,11	422	256,6	5,48	151,0	5,15	0,26	0,36	28,5
1000	1° 27′	1° 40′	0,0292	2,35	377	204,9	4,38	121,0	4,69	0,55	1,20	41,0
1500	2° 21′	2° 54′	0,0505	3,72	341	167,3	3,57	98,3	4,31	0,94	2,54	50,5
2000	3° 23′	4° 24′	0,0771	5,23	314	142,3	3,04	84,0	4,01	1,42	4,40	57,0
2500	4° 34′	6° 17′	0,1102	6,89	295	125,9	2,69	74,0	3,76	1,95	6,32	57,4
3000	5° 56′	8° 34′	0,1506	8,70	283	115,5	2,47	68,0	3,61	2,75	8,33	55,4
3500	7° 29′	11° 16′	0,1993	10,68	273	107,5	2,30	63,3	3,49	4,14	10,60	53,3
4000	9° 15′	14° 24′	0,2570	12,83	263	100,3	2,14	59,0	3,35	6,92	12,31	50,2
4500	11° 1′	16° 37′	0,2984	14,69	253	92,6	1,98	54,5	3,22	»	»	»
5000	13° 2′	19° 6′	0,3462	16,92	245	86,9	1,85	51,2	3,11	»	»	»
5500	15° 13′	22° 32′	0,4149	19,34	239	82,5	1,76	48,6	3,03	»	»	»
6000	17° 38′	26° 9′	0,4909	21,82	234	78,8	1,68	46,4	2,97	»	»	»
6500	20° 24′	30° 20′	0,5851	24,72	230	76,0	1,62	44,8	2,91	»	»	»
6600	21°	31° 12′	0,6056	25,29	229	75,8	1,62	44,7	2,90	»	»	»

DATOS *sobre el tiro directo é indirecto del cañón B., de 14 cm., Cc. con proyectil de 19,15 kg. y varias cargas.*

Distancias. — Metros.	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — Segundos.	Velocidad remanente tangencial. — m × 1″	Energía del proyectil Total. — Tonelámetros	Energía del proyectil por cm. de circunferencia. — Tonelámetros	Energía del proyectil por cm.² de la esfera de igual diámetro. — Kilográmetrs	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido lateral. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido vertical. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido longitudinal. — Metros.
	Carga máxima de 4 kg. de pólvora prismática de 7 canales (tiro directo).							Velocidad inicial 460 m. × 1″.				
500	0° 43′	0° 51′	0,015	1,18	390	148,3	3,38	103,1	3,64	0,77	0,40	»
1000	1° 33′	2° 2′	0,035	2,54	339	112,1	2,55	78,0	3,23	1,81	1,21	»
1500	2° 32′	3° 36′	0,063	4,10	302	89,1	2,02	62,0	2,90	3,13	2,53	40,2
2000	3° 43′	5° 36′	0,098	5,85	274	73,3	1,67	51,0	2,64	4,81	4,42	45,1
2500	5° 10′	8° 3′	0,141	7,76	253	62,5	1,42	43,4	2,43	6,91	7,00	49,4
3000	6° 53′	10° 55′	0,193	9,79	238	55,3	1,26	38,4	2,27	9,46	»	53,2
4000	11° 13′	18° 10′	0,328	14,18	218	46,5	1,06	32,3	2,05	16,06	»	59,7
4715	15°	27° 26′	0,519	18,60	201	39,5	0,90	27,5	1,87	»	»	»
5000	16° 50′	30° 33′	0,590	19,50	198	38,2	0,87	26,5	1,83	»	»	»
5970	25°	43° 28′	0,948	27,92	194	36,8	0,84	25,6	1,79	»	»	»
6185	27°	46° 11′	1,042	29,68	196	37,5	0,85	26,0	1,81	»	»	»
6410	30°	50° 2′	1,193	32,20	199	38,7	0,88	26,9	1,85	»	»	»
	Carga de 3,5 kg. de pólvora prismática de 7 canales.							Velocidad inicial 420 m. × 1″.				
500	0° 54′	1° 2′	0,018	1,28	363	128,6	2,93	89,3	3,43	0,80	0,55	»
1000	1° 56′	2° 21′	0,041	2,75	319	99,3	2,26	69,0	3,04	1,81	1,42	»
1500	3° 8′	4° 3′	0,070	4,41	287	80,0	1,82	55,6	2,76	3,17	2,65	36,9
2000	4° 35′	6° 13′	0,109	6,23	264	68,0	1,54	47,2	2,54	4,89	4,45	41,4
2500	6° 20′	8° 56′	0,157	8,19	246	59,1	1,34	41,0	2,36	6,90	7,83	48,4
3000	8° 23′	12° 21′	0,219	10,27	235	53,9	1,22	37,5	2,24	9,34	»	62,4
	Carga de 3 kg. de pólvora prismática de 7 canales.							Velocidad inicial 375,5 m. × 1″.				
500	1° 5′	1° 11′	0,021	1,43	328	105,1	2,39	73,0	3,14	0,82	0,70	»
1000	2° 19′	2° 40′	0,047	3,05	293	83,9	1,91	58,3	2,81	1,82	1,64	»
1500	3° 46′	4° 27′	0,078	4,84	267	69,7	1,58	48,4	2,56	3,20	2,78	35,1
2000	5° 29′	6° 49′	0,120	6,78	249	60,6	1,38	42,0	2,38	4,97	4,48	40,1
2500	7° 33′	9° 50′	0,173	8,85	235	54,0	1,23	37,5	2,24	6,89	8,67	51,0
3000	9° 52′	13° 46′	0,245	11,02	225	49,5	1,12	34,4	2,14	9,22	»	72,0
	Carga de 2,5 kg. de pólvora prismática de 7 canales.							Velocidad inicial 314 m. × 1″.				
1000	3° 17′	3° 57′	0,069	3,54	258	65,1	1,48	45,2	2,48	1,52	3,14	45,1
1500	5° 20′	6° 26′	0,113	5,55	240	56,2	1,28	39,1	2,30	2,71	7,42	65,1
2000	7° 55′	9° 37′	0,169	7,70	226	49,9	1,13	34,7	2,15	4,17	14,92	88,0
	Carga de 2 kg. de pólvora prismática de 7 canales.							Velocidad inicial 247 m. × 1″.				
1000	4° 20′	5° 16′	0,092	4,30	219	46,8	1,06	32,5	2,07	1,22	4,64	50,5
1500	6° 56′	8° 24′	0,148	6,64	207	41,8	0,95	29,0	1,94	2,22	12,06	81,0
2000	10° 4′	12° 25′	0,220	9,11	197	37,9	0,86	26,4	1,82	3,38	25,37	115,0

DATOS *sobre el tiro del cañón B. de 10 cm., Cc. con proyectil de 8,4 kg. y carga de 1,2 kg. de pólvora de 2½ mm. (1869). —Velocidad inicial* 372 *m.* × 1″ (*).

Distancias. — *Metros.*	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — *Segundos.*	Velocidad remanente tangencial. — *m* × 1″	Energía del proyectil: Total. — *Tonelámetros*	Energía del proyectil: por cm. de circunferencia. — *Tonelámetros*	Energía del proyectil: por cm.³ de la esfera de igual diámetro. — *Kilográmetrs*	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: lateral. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: vertical. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: longitudinal. — *Metros.*
500	1° 10′	1° 17′	0,0255	1,47	317,5	43,0	1,37	82,2	2,63	»	»	»
1000	2° 33′	3°	0,0525	3,13	287,6	35,4	1,13	67,6	2,39	»	»	»
1500	4° 8′	4° 49′	0,0843	4,95	267,6	30,6	0,97	58,4	2,22	»	»	»
2000	5° 59′	7° 35′	0,1331	6,92	249,4	26,6	0,85	51,0	2,07	»	»	»
2500	7° 59′	10° 30′	0,1855	9,06	234,3	23,5	0,75	45,0	1,93	»	»	»
3000	10° 16′	13° 56′	0,2481	11,37	220,7	21,0	0,67	42,2	1,80	»	»	»
3500	12° 57′	18° 4′	0,3260	13,94	208,8	18,7	0,60	35,7	1,69	»	»	»
3550	13° 15′	18° 31′	0,3348	14,21	207,8	18,5	0,59	35,3	1,68	»	»	»

(*) Se ha calculado esta tabla suponiendo que el ángulo de reelevación sea de 15′, y partiendo como dato de experiencia, de que el ángulo de tiro de 10° (10° 15′ de elevación) da el alcance de 3000 metros, dato tomado de la *tabla provisional de tiro* de la misma pieza.

DATOS *sobre el tiro directo é indirecto del cañón Ac. de 8 cm. cr. (Plasencia) de montaña, con granada ordinaria de envuelta ligera, mod. 1873, de 3,62 kg. de peso y varias cargas* (*).

Distancias. — *Metros.*	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — *Segundos.*	Velocidad remanente tangencial. — *m* × 1″.	Energía del proyectil: Total. — *Tonelámetros*	Energía del proyectil: por cm. de circunferencia. — *Tonelámetros*	Energía del proyectil: por cm.³ de la esfera de igual diámetro. — *Kilográmetrs*	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: lateral. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: vertical. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: longitudinal. — *Metros.*
	Carga máxima de 0,4 kg. de pólvora de 2 ½ mm. (1869). Velocidad inicial 280 m. × 1″.											
500	1° 54′	2°	0,0349	1,87	258,9	12,40	0,508	50,0	1,52	»	»	»
1000	4°	4° 24′	0,0771	3,87	241,0	10,75	0,438	43,3	1,41	»	»	»
1500	6° 38′	7° 55′	0,1390	6,23	214,3	8,50	0,347	34,3	1,23	»	»	»
2000	9° 55′	12° 38′	0,2242	9,01	193,2	6,90	0,282	27,8	1,09	»	»	»
2500	14° 40′	20° 21′	0,3709	12,55	167,9	5,21	0,213	21,0	0,91	»	»	»
3000	20° 35′	29° 33′	0,5668	16,72	157,0	4,55	0,186	18,4	0,83	»	»	»
3260	24° 12′	34° 47′	0,6947	19,16	155,4	4,47	0,183	18,0	0,82	»	»	»
	Carga de 0,25 kg. de pólvora de 2 ½ mm. (1869). Velocidad inicial 211 m. × 1″.											
1000	7° 2′	7° 44′	0,1357	5,13	183,1	6,20	0,253	25,0	1,02	»	»	»
1500	11° 30′	13° 27′	0,2390	8,20	167,0	5,24	0,215	21,2	0,90	»	»	»
2000	17° 35′	22° 9′	0,4072	12,08	148,9	4,10	0,167	16,5	0,77	»	»	»
	Carga de 0,15 kg. de pólvora de 2 ½ mm. (1869). Velocidad inicial 155 m. × 1″.											
1000	13° 50′	15° 35′	0,2789	7,31	129,6	3,11	0,127	12,5	0,63	»	»	»
1500	24° 3′	28° 15′	0,5374	12,23	121,5	2,73	0,112	11,0	0,57	»	»	»
	Carga de 0'1 kg de pólvora de 2 ½ mm. (1869). Velocidad inicial 122 m. × 1″.											
500	9° 40′	9° 43′	0,1712	4,21	121,2	2,71	0,111	10,9	0,57	»	»	»
1000	23° 20′	25° 25′	0,4751	9,60	107,3	2,13	0,087	8,6	0,47	»	»	»

(*) Deducida, completándola de la tabla de tiro provisional de esta pieza. Recientemente ha calculado la Escuela central de Tiro la tabla definitiva, pero no la conocemos.

Hay que observar que esta tabla supone el empleo de la granada ordinaria de envuelta ligera de 3,62 kg. de peso. Si se emplease la granada de doble pared, que pesa 3,88 kg., la velocidad inicial sería de 272 m. $\times$ 1″, y si la granada de segmentos, cuyo peso es 3,808 kg., sería de 274 m. $\times$ 1″. La diferencia de efectos ha de ser insignificante, y no nos ha parecido necesario calcular otras dos tablas especiales.

La velocidad inicial del shrapnel es de 264 m. $\times$ 1″.

CAPÍTULO TERCERO.

ARTILLERÍA DE SITIO QUE PODRÍA EMPLEARSE EN EL ATAQUE DE NUESTRAS PLAZAS.

PARECE natural tomar la artillería de sitio francesa como tipo de la que puede presentarse ante nuestras fortalezas. La mayor parte de ellas están situadas entre los Pirineos y el Ebro, y aun las que se encuentran á retaguardia de esta línea pueden verse llamadas á sufrir un ataque de tropas francesas (la experiencia lo ha demostrado); aparte de que nada se pierde con disponer las obras de modo que resistan á las piezas De Bange, cuyas cualidades balísticas no son esencialmente diversas de las análogas de otros sistemas. Consideramos, pues, que como complemento indispensable del estudio sobre nuestra artillería de plaza, debemos presentar los datos principales acerca de los trenes de sitio, las piezas que los componen y los procedimientos de ataque, que son reglamentarios en Francia, sin perjuicio de dar después cuadros abreviados de las piezas más modernas fabricadas en los últimos años, y de otras que, aunque no son tan recientes, deben también tomarse en cuenta.

TRENES DE SITIO. Comprenden en total 900 piezas, con su dotación completa de montajes, carruajes, juegos de armas, municiones y enseres, organizadas en 10 *medios parques de sitio* de 90 piezas cada uno, los cuales están almacenados en los puntos siguientes:

Campo atrincherado de París.	París.	1
	Vincennes.	2
	Versalles.	1
Lyon.		2
Clermont-Ferrand.		2
Dijon.		1
Langres.		1

Cada medio parque comprende:

4	cañones	de 220 mm.	con	800	disparos	por	pieza.
20	id.	de 155 mm. largos	con	1300	id.	por	id.
10	id.	de 155 mm. cortos	con	1100	id.	por	id.
30	id.	de 120 mm.	con	1150	id.	por	id.
9	id.	de 95 mm.	con	1150	id.	por	id.
4	morteros	de 270 mm.	con	600	id.	por	id.
7	id.	de 220 mm.	con	600	id.	por	id.
6	id.	de 15 cm. lisos	con	600	id.	por	id.

La organización en *porciones* y *secciones* es la que se indica á continuación, expresando el número de vagones y de trenes necesarios para el transporte de un medio parque por vía férrea.

			Pesos aproximados. — *Toneladas.*	Número: de truks ó plataformas descubiertas.	Número: de furgones cerrados.	Número: Total de vagones.	Número: Total de trenes.
MEDIO PARQUE DE SITIO.	*Porción principal*..	Sección núm. 1.—Objetos necesarios para la instalación del parque, los reconocimientos de la plaza y la construcción de las baterías..	660	80	6	86	2
		Sección núm. 2.—Todas las piezas, excepto los cañones de 220 y los morteros de 270, con las cureñas y afustes y $\frac{1}{10}$ más de reserva, los avantrenes, juegos de armas, etc., y la primera dotación de municiones de 300 á 350 disparos por cañón y 200 por mortero.	1460	140	120	260	6
		Sección núm. 3.—Segunda dotación de municiones, idéntica á la primera..	1160	80	120	200	5
	Porción complementaría..	Sección núm. 4.—Tercera dotación de municiones, que completa la total.	1580	110	110	220	6
		Sección núm. 5.—Respetos de las piezas y servicio de reparaciones y entretenimiento..	80	6	10	16	1
		Sección núm. 6.—Piezas de uso excepcional, ó sean los 4 cañones de 220 y los 4 morteros de 270 con toda su dotación de municiones, montajes, accesorios y respetos.	1260	160	80	240	5
	Tren de transporte	Sección núm. 1.—40 carros de parque, 2 de forraje, 2 fraguas..	100	88	130	218	6
		Sección núm. 2.—40 carros de parque, 2 de forraje, 2 fraguas..					
	Material Decauville. . . .	Material fijo de ferrocarril portátil de 50 cm. de ancho y material móvil para el mismo. . — Dos de los medios parques. 20 km.	364	48	»	48	2
		Material fijo de ferrocarril portátil de 50 cm. de ancho y material móvil para el mismo. . — Los demás.. . 5 km.	91	12	»	12	1
		Número total de trenes.					32 ó 33

PIEZAS.—SUS MONTAJES Y PROYECTILES. Claro es que en el ataque de las fortalezas pueden tomar parte no sólo las piezas propiamente de sitio, sino también las de campaña, y hasta las de montaña cuando se trate de fuertes en país montañoso, donde las dificultades del transporte serán causa de que se prefieran las piezas más ligeras. Parece, pues, conveniente reunir los datos, no sólo de las piezas de los trenes de sitio, sino también de las de campaña, que además es bueno conocer para cuando se trate de posiciones atrincheradas y no de plazas fuertes permanentes.

En primer lugar presentaremos reunidos en el siguiente cuadro los datos de las piezas y sus montajes (9).

---

(9) Según han dicho los periódicos, la artillería francesa ha adoptado recientemente un cañón corto (ú obús) de 120 mm., como pieza de fuego curvo de campaña, propia para el ataque de atrincheramientos, que también podría emplearse en los sitios de las plazas. Esta pieza, con el cañón de 95, tal vez forme el núcleo principal del tren ligero destinado al ataque de los fuertes de montaña. Es de suponer que si existe esta boca de fuego no se diferencie mucho en dimensiones y peso de los obuses de 12 cm., de que hablaremos más adelante, al final de este capítulo, y que dispare los mismos proyectiles que el cañón de 120.

PIEZAS FRANCESAS DE CAMPAÑA Y SITIO.	Cañón 80 de montaña.	Cañón 80 de campaña.	Cañón 90.	Cañón 95.	Cañón 120.	Cañón largo 155.	Cañón 220.	Cañón corto 155.	Mortero 220.	Mortero 270.
DATOS DE LA PIEZA										
Calibre (diámetro del ánima). . . . . mm.	80	80	90	95	120	155	220	155	220	270
Longitud total. . . . . mm.	1200	2280	2280	2500	3250	4200	5100	2400	2000	2600
Longitud del ánima. . mm.	1067	»	»	2265	2972	3843	4549	2115	1606	»
Longitud del rayado.. mm.	933	1689	1641	1931	2442	3171	3915	1876	1376	1805
Volúmen de la recámara. . . . . dm.^{3}	0,617	2,245	2,98	2,674	6,034	12,73	»	4,36	8,2	»
Paso final de las rayas. calibres.	25,58	25,58	25,58	25,58	25,58	25,58	25,58	25,58	27,6	25,58
Peso total de la pieza. kg.	105	425	530	706	1200	2530	6027	1025	2130	5750
DATOS DEL MONTAJE.										
Clase de montaje.	Cureña de ruedas.	Cureña de ruedas.	Cureña de ruedas.	Cureña alta de ruedas.	Cureña alta de ruedas.	Cureña alta de ruedas.	Cureña alta de ruedas.	Col de cygne.	Afuste rastra.	Afuste rastra.
Altura del eje de muñones. . . . . mm.	764	1130	1165	1800	1800	1945	2050	1140	1090	1500
Angulos límites de puntería. . elevación. . .	+ 26°	+ 26°	+ 25°	+ 40°	+ 30°	+ 28°	+ 35°	+ 60°	+ 60°	+ 60°
Angulos límites de puntería. . depresión. . .	»	— 5°	— 5°	— 10°	— 5°	— 12°	»	— 17°	— 8°	»
Peso total del montaje. . . . . kg.	173	530	680	1180	1440	3255	5650	1125	2100	6027
Peso del avantrén. . . kg.	»	635	790	380	550	550	550	»	»	»

Todas las piezas son proyecto del coronel De Bange, excepto el cañón de 95, que fué proyectado por De Lahitolle, pero que sólo presenta con las otras ligeras diferencias de construcción.

Todas son de acero. El tubo es de acero fundido y está reforzado con sunchos de acero pudlado. En algunas piezas los sunchos llegan á la boca; en otras se acaban poco más allá de los muñones que van en uno de ellos. La recámara de la pólvora es ensanchada y la del proyectil rayada; las rayas son paralelas ó uniformes de paso progresivo, en número grande y de pequeña profundidad, y son dextrorsum, excepto en el cañón Lahitolle, que las tiene sinistrorsum. El cierre es de tornillo partido, con portezuela y obturador plástico de amianto y sebo, y lleva el fogón en el eje del tornillo.

Todos los montajes son de acero fundido. Los de las piezas de 80 y 90 son de la forma ordinaria de campaña con ruedas. Los de los cañones de 95, 120, 155 largo y 220 son de los llamados *de sitio*, con ruedas y las muñoneras altas para tirar por encima de parapeto, y llevan freno hidráulico para limitar el retroceso. La cureña de 95, llamada *omnibus*, sirve también para los cañones de 90 y de 80 de campaña, cuando se quiere colocarlos en las mismas condiciones de protección. El montaje del cañón de 155 corto, llamado *affût à col de cygne*, se parece á una cureña de sitio á la que se hubiesen quitado las ruedas, y es de rastra con roldanas para entrar en batería. Los afustes de los morteros de 220 y 270 son de gualderas triangulares y de rastra.

Debe observarse que el cañón corto de 155 es más propiamente un *obús*, y que su autor, cuando se puso al frente de los *Anciens établissements Cail*, dedicados á la fabricación de artillería como industria privada, le llamó *mortero*. Asimismo los morteros de 220 y 270 son en realidad piezas intermedias, y también se les podría llamar por sus condiciones, sin impropiedad, *obuses*.

Veamos las dimensiones y pesos de los proyectiles:

GRANADAS ORDINARIAS.	CALIBRES.						
	80.	90.	95.	120.	155.	220.	270.
Diámetro.. . . . . mm.	78,8	88,7	93,5	118	153,1	218	»
Longitud total. . . . . mm.	228	256	298	350	465	605	»
Peso total cargada. . . kg.	5,605	7,945	10,945	17,8	40	98	170
Carga explosiva.. . . . kg.	0,24	0,28	0,37	0,80	1,60	6	8,30
Espoleta.	Percusión, 1878	Percusión, Budin	Percusión, Budin	Percusión, 1878	Percusión, 1878	Percusión, 1878	Percusión, 1878

SHRAPNELS.	CALIBRES.								
	80. obus a balles.	80. obus a mitraille.	90. obus a balles.	90. obus a mitraille.	95. obus a balles.	95. obus a mitraille.	120. obus a balles.	155. obus a balles.	155. obus a mitraille.
Diámetro.. . . . . mm.	78,8	78,8	88,7	88,7	93,5	93,5	118	153,1	153,1
Longitud total. . . . . mm.	228	»	256	»	292	»	300	415	»
Peso total cargado. . . kg.	5,9	6,3	8,17	8,68	11,2	12,3	19	40,91	40
Carga explosiva.. . . . kg.	0,15	0,08	0,2	0,13	0,15	0,175	0,15	0,45	0,55
Número de balines.	93	120	92	160	104	160	240	270	416
Número total de cascos contando los balines.	»	162	»	237	»	250	»	»	604
Espoleta.	Doble efecto.	Doble efecto.	Doble efecto.	Doble efecto.	Doble efecto.	Doble efecto.	Doble efecto.	Doble efecto.	Doble efecto.
Duración de la espoleta. segundos.	20	24	20	24	20	24	30	30	30

BOTES DE METRALLA.	CALIBRES.				
	80.	90.	95.	120.	155.
Peso total. . . . . kg.	5,55	7,86	10,97	18,55	39,6
Número de balines.	85	123	186	282	429

GRANADAS-TORPEDOS.	CALIBRES.			
	90.	155.	220	570.
Longitud.. . . . . calibres.	4	4½	5	5
Peso total. . . . . kg.	»	43,38	140	230
Caaga explosiva.. . . . kg.	1,4	12	33	66
Substancia explosiva.	Cresilita.	Melinita.	Melinita.	Melinita.

Las granadas ordinarias de 80 y 90 están suprimidas, por lo menos en la dotación de las baterías de campaña. Las de los calibres superiores, que tienen espesor de paredes relativamente considerable, constituyen el verdadero proyectil de batir. Todas llevan espoleta de percusión. La ojiva es de gran radio, y por lo tanto aguda.

Entre los shrapnels hay dos tipos distintos. El *obus à balles* es de carga central, con envuelta de hierro fundido. El *obus à mitraille* es de carga anterior: se compone de una envuelta de acero de la misma forma que las granadas, cerrada por un culote de acero, que se sujeta por el anillo de cobre destinado á conducir el proyectil por las rayas; en el interior hay una pila de galletas de hierro fundido, que presentan en las caras superior é inferior una serie de alvéolos hemisféricos, destinados á la colocación de los balines, y que determinan además las líneas de fractura de las galletas; la cabeza del proyectil está formada por una ojiva de hierro fundido hueca, llamada *grenade*, que lleva la espoleta y encierra la carga de explosión; entre los balines y los alvéolos hay esparcido polvo de carbón para aumentar la nube de humo que se produce al estallar el proyectil y facilitar la observación del tiro. En el *obus à mitraille* de 155, el hueco de la ojiva se prolonga por un tubo central á lo largo del eje del proyectil. Este se llama también *shrapnel à gerbe ouverte*. En las baterías de campaña constituye actualmente el *obus à mitraille* el proyectil único que, con su espoleta de doble efecto, sirve para las dos clases de tiro: *percutant*, á grandes distancias y para la corrección del tiro; *fusant*, dentro de los alcances eficaces y especialmente contra tropas.

Del bote de metralla no hay necesidad de dar descripción especial; tiene la disposición ordinaria.

Las granadas-torpedos, ó sean *obus-torpilles*, son proyectiles de acero, de paredes delgadas, más largos que los ordinarios y de gran capacidad interior para contener una fuerte carga de substancia explosiva violenta. La adoptada para los calibres de 155, 220 y 270 es la melinita, que no es más que ácido pícrico cristalizado ó un compuesto de ácido pícrico, cuya densidad gravimétrica es 1,60. Hasta ahora no se disparan las granadas-torpedos de melinita más que con las piezas cortas ó de tiro curvo, y según parece nunca con velocidades iniciales que pasen de los

200 metros por segundo. La espoleta que llevan estos proyectiles es de percusión retardatriz. Los efectos explosivos de las granadas-torpedos son muy considerables, pero su uso resulta delicado y peligroso.

La artillería de campaña tiene también una granada-torpedo de 90, cuya dotación es de 75 por batería, destinada á tirar contra los obstáculos resistentes que no podría destruir el *obus à mitraille*. Su carga es de *cresilita*, substancia explosiva de menor poder que la melinita y de uso más seguro, aunque de composición semejante. La espoleta es de percusión. No debe confundirse la *obus-torpille* de la artillería de campaña francesa con la *sprenggranate* de la alemana. Ambas son de acero, de paredes delgadas y de fuerte carga explosiva; pero la primera sólo tira contra atrincheramientos, muros gruesos, edificios, etc., mientras la segunda, provista de espoleta de doble efecto, está destinada á constituir un *shrapnel* de cono muy abierto (130°), con número muy considerable de cascos, que se empleará principalmente para desalojar de sus posiciones á tropas colocadas detrás de atrincheramientos, cuando el shrapnel ordinario de carga central ó posterior no baste para el objeto.

Efectos de las piezas. Para que puedan apreciarse los efectos del fuego de las piezas de sitio y campaña, damos á continuación los datos más esenciales, en forma igual á la que hemos adoptado en los capítulos anteriores para dar á conocer el de las nuestras.

No se especifican las cargas porque no presentan interés para nuestro objeto y porque parece que se abandona el uso de las pólvoras Castán, C_1, SP_1 y SP_2, antes empleadas en los piezas de campaña y sitio francesas, y que se substituyen por las nuevas *sin humo* BN, pero determinando las cargas que son necesarias para obtener las mismas velocidades iniciales que figuran en las tablas de tiro, con lo cual éstas no se modifican.

Datos *sobre el tiro de los cañones De Bange de 80 mm., de campaña y montaña, con proyectil de 5.605 kg. de peso.*

Distancias. — Metros.	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — Segundos.	Velocidad remanente tangencial. — m × 1″	Energía del proyectil: Total. — Tonelámetros	Energía del proyectil: por cm. de circunferencia. — Tonelámetros	Energía del proyectil: por cm.³ de la esfera de igual diámetro. — Kilográmetrs	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: lateral. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: vertical. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: longitudinal. — Metros.
	Cañón de campaña. Velocidad inicial: 490 m. × 1″. Tiro directo.											
500	0° 40′	0° 45′	0,0131	1,1	405	47,0	1,87	176	3,38	0,2	0,2	15,8
1000	1° 30′	1° 50′	0,0320	2,4	360	37,2	1,48	139	3,07	0,4	0,6	16,0
1500	2° 25′	3° 10′	0,0553	3,9	325	30,3	1,21	113	2,80	0,8	1,0	16,4
2000	3° 35′	4° 50′	0,0846	5,5	300	26,8	1,07	100	2,60	1,4	1,4	17,0
2500	4° 50′	6° 50′	0,1198	7,2	280	22,5	0,90	84	2,43	1,8	2,2	18,0
3000	6° 15′	9°	0,1584	9,0	265	20,5	0,82	77	2,30	2,6	3,0	19,4
4000	9° 35′	13° 45′	0,2447	13,1	245	17,2	0,68	64	2,12	4,2	5,6	23,2
5000	13° 25′	19° 40′	0,3574	17,7	235	15,8	0,63	59	2,02	6,8	10,4	28,8
6000	18° 30′	27° 30′	0,5206	23,1	230	15,2	0,61	57	1,97	10,8	19,0	36,2
7000	25° 25′	38° 40′	0,8002	29,6	230	15,2	0,61	57	1,97	16,0	37,8	46,2
	Cañón de campaña. Velocidad inicial: 385 m. × 1″. Tiro indirecto.											
1000	2° 14′	2° 35′	0,0451	3,0	310	27,6	1,10	103	2,68	0,4	1,0	18,8
1500	3° 34′	4° 20′	0,0758	4,7	290	24,1	0,96	90	2,52	0,8	1,6	19,4
2000	5° 4′	6° 25′	0,1125	6,5	270	20,9	0,83	78	2,34	1,4	2,6	20,4
2500	6° 49′	8° 55′	0,1569	8,4	255	18,6	0,74	69	2,21	2,0	3,6	22,0
3000	8° 39′	11° 35′	0,2050	10,5	245	17,2	0,68	64	2,12	2,8	5,0	24,4
	Cañón de montaña. Velocidad inicial: 257 m. × 1″. Tiro directo.											
500	2° 15′	2° 20′	0,0407	2,0	240	16,5	0,66	62	2,07	0,4	0,6	17,8
1000	4° 40′	5°	0,0875	4,2	230	15,2	0,61	57	1,97	1,2	1,6	18,0
1500	7° 15′	8° 10′	0,1435	6,5	215	13,3	0,53	50	1,86	2,2	2,6	18,4
2000	10° 15′	11° 50′	0,2095	9,0	205	12,1	0,48	45	1,72	4,2	4,2	19,6
2500	13° 35′	16° 5′	0,2883	11,8	200	11,5	0,46	43	1,68	7,6	6,4	22,2
3000	17° 25′	21° 10′	0,3872	14,9	190	10,4	0,41	39	1,57	13,0	10,4	27,2
4000	28° 45′	35° 35′	0,7155	23,3	180	9,3	0,37	35	1,47	38,0	35,4	49,6
	Cañón de montaña. Velocidad inicial: 172 m. × 1″. Tiro indirecto.											
1000	10° 20′	11°	0,1944	6,3	155	6,9	0,27	26	1,20	3,6	5,8	30,2
1500	16° 45′	18° 45′	0,3394	10,1	145	6,1	0,24	23	1,09	8,0	12,8	36,6
2000	25° 30′	29° 45′	0,5715	14,8	135	5,2	0,21	19	0,99	17,4	28,6	50,4

DATOS *sobre el tiro del cañón De Bange de 90 mm., de campaña, con proyectil de 7,95 kg. de peso.*

Distancias. — Metros.	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — Segundos.	Velocidad remanente tangencial. — $m \times 1''$	Energía del proyectil: Total. — Toneládmetros	Energía del proyectil: por cm. de circunferencia. — Toneládmetros	Energía del proyectil: por cm.³ de la esfera de igual diámetro. — Kilográmetrs	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: lateral. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: vertical. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: longitudinal. — Metros.
	Velocidad inicial: 455 m. × 1″. Tiro directo.											
500	0° 48′	0° 55′	0,0160	1,2	390	61,7	2,18	161	3,68	0,2	0,2	16,0
1000	1° 38′	2° 5′	0,0364	2,6	350	49,7	1,76	130	3,36	0,4	0,6	16,2
1500	2° 43′	3° 25′	0,0597	4,1	320	41,6	1,47	109	3,09	0,8	1,0	16,8
2000	3° 53′	5°	0,0875	5,7	300	36,5	1,29	95	2,91	1,4	1,6	18,0
2500	5° 18′	6° 55′	0,1213	7,4	285	33,0	1,16	86	2,77	2,0	2,4	19,4
3000	6° 43′	9°	0,1584	9,3	270	29,6	1,05	77,4	2,63	2,8	3,4	21,4
4000	10° 3′	14° 5′	0,2509	13,6	245	24,3	0,86	63,5	2,36	5,2	6,6	26,0
5000	14° 8′	20° 30′	0,3739	18,7	235	22,4	0,79	58,6	2,27	8,4	12,0	32,0
6000	19° 13′	28° 10′	0,5354	24,3	230	21,5	0,76	56,1	2,21	12,6	21,2	39,6
7000	26° 18′	38° 50′	0,8050	30,9	230	21,5	0,76	56,1	2,21	18,6	39,2	48,8
	Velocidad inicial: 310 m. × 1″. Tiro indirecto.											
1000	3° 15′	3° 25′	0,0597	3,5	270	29,6	1,05	77,4	2,63	0,6	1,0	15,8
1500	5° 10′	5° 40′	0,0992	5,4	255	26,4	0,93	69,0	2,47	1,2	1,8	17,4
2000	7° 10′	8° 20′	0,1465	7,4	245	24,3	0,86	63,5	2,36	1,8	2,8	18,8
2500	9° 20′	11° 15′	0,1989	9,6	235	22,4	0,79	58,5	2,27	2,4	4,2	21,0
3000	11° 45′	14° 25′	0,2571	12,0	225	20,6	0,73	54	2,15	3,2	6,0	23,4
4000	17° 25′	22°	0,4040	17,1	215	18,8	0,67	49,2	2,05	5,2	12,4	30,2

Datos *sobre el tiro del cañón De Lahitolle de 95 mm., con proyectil de 10,95 kg. de peso.*

Distancias — Metros.	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria — Segundos.	Velocidad remanente tangencial. — m × 1″	Energía del proyectil Total. — Tonelámetros	Energía del proyectil por cm. de circunferencia. — Tonelámetros	Energía del proyectil por cm.² de la esfera de igual diámetro. — Kilográmetrs	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido lateral. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido vertical. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido longitudinal. — Metros.
	Velocidad inicial: 443 m. × 1″. Tiro directo.											
500	0° 52′	0° 55′	0,0160	1,25	385	83,0	2,78	185,0	4,49	0,6	0,4	21,4
1000	1° 47′	2° 5′	0,0364	2,65	345	66,5	2,23	148,2	4,09	1,0	0,6	20,2
1500	2° 57′	3° 30′	0,0612	4,2	315	55,5	1,86	123,8	3,76	1,6	1,2	20,2
2000	4° 12′	5° 15′	0,0919	5,9	295	48,7	1,63	108,3	3,53	2,2	1,8	20,4
2500	5° 32′	7° 15′	0,1272	7,8	280	43,9	1,47	98,0	3,46	2,8	2,8	21,8
3000	7° 12′	9° 40′	0,1703	9,8	265	39,3	1,32	87,6	3,17	3,8	4,0	23,6
4000	10° 42′	15° 10′	0,2711	14,5	245	33,6	1,12	74,9	2,92	5,8	7,4	27,6
5000	15° 32′	21° 55′	0,4023	19,8	235	30,9	1,04	68,8	2,79	8,6	13,0	32,4
6000	21° 22′	28° 30′	0,5430	25,5	230	29,6	0,99	66,0	2,73	13,8	»	41,4
7000	28° 47′	36° 59′	0,7531	32,5	230	29,6	0,99	66,0	2,73	23,0	»	63,4
	Velocidad inicial: 320 m. × 1″. Tiro indirecto.											
1000	3°	3° 20′	0,0582	3,6	280	43,8	1,47	97,6	3,36	0,6	0,6	14,8
1500	4° 45′	2° 25′	0,0948	5,5	265	39,3	1,32	87,7	3,17	1,0	1,6	17,6
2000	6° 40′	7° 45′	0,1361	7,5	255	36,4	1,22	81,0	3,04	1,6	2,8	21,0
2500	8° 45′	10° 20′	0,1823	9,6	245	33,0	1,12	75,0	2,92	2,2	4,6	25,0
3000	11°	13°	0,2309	11,8	235	30,9	1,04	68,8	2,79	2,8	7,0	29,2
4000	16° 15′	20° 10′	0,3673	16,8	220	27,1	0,91	60,3	2,59	4,6	14,4	38,6

DATOS *sobre el tiro del cañón De Bange de 120 mm., con proyectil de 18,3 kg. de peso.*

Distancias. — Metros.	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — Segundos.	Velocidad remanente tangencial. — m × 1″.	Energía del proyectil: Total. — Tonelámetros	Energía del proyectil: por cm. de circunferencia. — Tonelámetros	Energía del proyectil: por cm.³ de la esfera de igual diámetro. — Kilográmetrs	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: lateral. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: vertical. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: longitudinal. — Metros.
	Velocidad inicial: 516 m. × 1″. Tiro directo.											
500	0° 37′	0° 40′	0,0116	1,0	450	189,0	5,26	209,5	5,32	0,2	0,2	14,4
1000	1° 16′	1° 30′	0,0262	2,2	405	153,0	4,05	169,5	4,90	0,4	0,4	14,0
1500	2° 2′	2° 30′	0,0437	3,4	375	131,0	3,47	145,0	4,60	0,8	0,8	13,0
2000	2° 58′	3° 45′	0,0655	4,9	350	114,0	3,02	126,0	4,33	1,0	1,0	14,0
2500	3° 58′	5° 15′	0,0919	6,4	330	102,0	2,70	112,8	4,11	1,4	1,4	15,0
3000	5° 2′	6° 50′	0,1198	8,0	315	93,0	2,46	102,9	3,88	1,8	1,8	16,0
4000	7° 32′	10° 35′	0,1868	11,3	290	78,5	2,08	86,8	3,63	2,6	3,2	18,8
5000	10° 21′	15° 5′	0,2695	15,2	270	68,0	1,80	75,2	3,38	3,8	5,6	22,0
6000	13° 42′	20° 15′	0,3689	19,3	260	63,2	1,67	70,0	3,25	5,2	9,6	26,0
7000	17° 33′	26° 5′	0,4895	24,0	255	60,8	1,61	67,2	3,19	7,4	15,8	31,2
8000	22° 36′	32° 50′	0,6453	29,4	250	58,4	1,54	64,5	3,12	10,2	25,4	37,8
9000	29° 6′	42°	0,9004	36,5	255	60,8	1,61	67,2	3,19	13,6	41,6	45,0
	Velocidad inicial: 380 m. × 1″. Tiro indirecto.											
1000	2° 10′	2° 25′	0,0422	2,9	330	102,0	2,70	112,8	4,11	0,6	0,6	15,4
1500	3° 25′	4°	0,0699	4,4	310	89,9	2,38	99,5	3,93	1,0	1,0	14,6
2000	4° 45′	5° 40′	0,0992	6,1	300	84,1	2,22	93,1	3,76	1,2	1,6	16,0
2500	6° 12′	7° 40′	0,1346	7,8	280	73,2	1,91	81,0	3,51	1,6	2,4	17,2
3000	7° 52′	9° 45′	0,1718	9,7	270	68,1	1,80	75,3	3,38	2,2	3,4	18,8
4000	11° 24′	14° 40′	0,2617	13,6	255	60,6	1,60	67,0	3,19	3,4	5,8	22,4
	Velocidad inicial: 260 m. × 1″. Tiro indirecto (*).											
1000	4° 23′	4° 40′	0,0816	4,0	240	53,9	1,43	59,7	2,99	0,6	1,2	17,0
1500	6° 51′	7° 20′	0,1287	6,2	230	49,5	1,31	54,8	2,86	1,0	2,4	18,4
2000	9° 28′	10° 25′	0,1838	8,4	225	47,3	1,25	52,3	2,79	1,4	4,0	22,0
2500	12° 18′	14°	0,2493	10,9	215	43,2	1,14	47,8	2,64	2,0	6,6	26,4
3000	15° 28′	17° 45′	0,3201	13,5	210	41,2	1,09	45,6	2,57	2,6	10,2	31,8
4000	23° 28′	27° 30′	0,5206	19,7	200	37,3	0,99	41,3	2,42	4,2	24,0	45,6

(*) Esta velocidad inicial debe corresponder próximamente al tiro del cañón corto de 120, si es que esta pieza existe. Véase página 60, nota.

DATOS *sobre el tiro del cañón De Bange de 155 mm. largo, con proyectil de 40 kg. de peso.*

Distancias. — Metros.	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — Segundos.	Velocidad remanente tangencial. — m × 1″	Energía del proyectil Total. — Tonelámetros	Energía del proyectil por cm. de circunferencia. — Tonelámetros	Energía del proyectil por cm.² de la esfera de igual diámetro. — Kilográmetrs	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido lateral. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido vertical. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido longitudinal. — Metros.
	Velocidad inicial: 470 m. × 1″. Tiro directo.											
500	0° 42′	0° 45′	0,0131	1,2	425	369	7,59	189,1	6,69	0,4	0,2	16
1000	1° 28′	1° 40′	0,0291	2,5	395	318	6,53	163,0	6,30	0,8	0,4	17
2000	3° 12′	4°	0,0699	5,2	350	250	5,23	128,0	5,69	1,8	1,4	20
3000	5° 19′	6° 50′	0,1193	8,2	315	202	4,14	103,8	5,17	3	3	23
4000	7° 47′	10° 25′	0,1838	11,6	290	171	3,52	87,6	4,77	4	4	26
5000	10° 37′	14° 40′	0,2617	15,2	270	149	3,06	76,6	4,44	6	8	30
6000	13° 52′	19° 25′	0,3525	19,2	255	132	2,71	67,7	4,19	10	12	34
7000	17° 35′	24° 50′	0,4628	23,7	240	117	2,41	60,0	3,93	16	20	42
8000	22° 12′	31° 20′	0,6088	28,8	220	99	2,04	50,8	3,56	22	30	50
9000	28° 10′	30° 10′	0,8146	35,3	200	82	1,68	42,0	3,19	34	56	68
	Velocidad inicial: 407 m. × 1″.											
500	0° 50′	0° 59′	0,0172	1,25	379	293	6,01	150,1	6,09	0,4	0,2	16,2
1000	1° 48′	2° 5′	0,0364	2,6	357	260	5,33	133,5	5,79	0,8	0,6	17,8
2000	3° 58′	4° 43′	0,0825	5,6	324	214	4,39	109,8	5,30	2,0	1,8	21,0
3000	6° 30′	8° 2′	0,1411	8,8	299	183	3,76	93,9	4,02	3,2	3,6	24,8
4000	9° 26′	11° 59′	0,2122	12,3	282	162	3,33	83,0	4,64	5,2	6,2	29,2
5000	12° 46′	16° 38′	0,2987	16,3	268	147	3,02	75,5	4,41	8,2	10,4	34,6
6000	16° 32′	22° 3′	0,4047	20,6	258	136	2,80	69,8	4,23	13,2	17,0	41,8
7000	21° 8′	28° 21′	0,5396	25,6	254	132	2,71	62,5	4,17	20,6	28,0	52,0
8000	27° 14′	36° 16′	0,7337	31,9	252	130	2,67	66,7	4,13	32,4	50,0	68,2
	Velocidad inicial: 360 m. × 1″. Tiro indirecto.											
1000	2° 16′	2° 25′	0,0422	2,8	335	229	4,70	117,8	5,48	0,8	0,8	19
2000	4° 46′	5° 25′	0,0948	5,9	305	190	3,90	97,3	5,01	2	2,2	22
3000	7° 56′	9°	0,1584	9,4	285	166	3,41	85,1	4,70	4	4	26
4000	10° 51′	13° 15′	0,2355	13,1	265	143	2,73	73,4	4,36	6	8	32
5000	14° 39′	18° 20′	0,3314	17,4	245	123	2,53	63,0	4,01	10	14	40
6000	19° 7′	24° 30′	0,4557	22,1	230	108	2,22	55,3	3,75	16	22	50
7000	24° 45′	31° 50′	0,6208	27,7	210	90	1,85	46,1	3,37	26	40	64

DATOS *sobre el tiro del cañón De Bange de 220 mm., con proyectil de 90 kg. de peso.*

Distancias. — *Metros.*	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria — *Segundos.*	Velocidad remanente tangencial. — $m \times 1''$	Energía del proyectil: Total. — *Tonelámetros*	Energía del proyectil: por cm. de circunferencia. — *Tonelámetros*	Energía del proyectil: por cm.³ de la esfera de igual diámetro. — *Kilográmetrs*	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: lateral. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: vertical. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: longitudinal. — *Metros.*
	Velocidad inicial: 440 m. × 1″. Tiro directo.											
500	0° 40′	0° 45′	0,0131	1,2	406	759,6	11,00	135,8	7,20	»	»	»
1000	1° 40′	1° 50′	0,0320	2,5	378	655,4	9,50	117,4	6,79	»	»	»
1500	2° 30′	2° 50′	0,0495	4,8	356	581,3	8,42	104,6	6,44	»	»	»
2000	3° 30′	4° 12′	0,0734	5,3	339	527,2	7,62	94,4	6,17	»	»	»
2500	4° 35′	5° 30′	0,0963	6,8	322	475,6	6,89	85,1	5,89	»	»	»
3000	5° 45′	7° 10′	0,1257	8,3	311	454,0	6,58	81,2	5,70	»	»	»
4000	8° 25′	10° 55′	0,1929	11,7	291	388,5	5,62	69,5	5,35	»	»	»
5000	11° 20′	15° 5′	0,2695	15,3	274	344,4	4,99	61,6	5,05	»	»	»
6000	14° 30′	19° 45′	0,3590	19,2	262	314,9	4,56	56,2	4,81	»	»	»
7000	18° 15′	25° 10′	0,4698	23,5	255	298,3	4,32	53,2	4,66	»	»	»
8000	22° 25′	30° 50′	0,5969	28,3	253	293,6	4,25	52,6	4,64	»	»	»
9000	28°	38° 20′	0,7907	34,4	254	295,9	4,29	53,0	4,65	»	»	»
9635	35°	46° 4′	1,0379	40,4	266	324,5	4,69	58,0	4,89	»	»	»

DATOS *sobre el tiro directo é indirecto del cañón De Bange de 155 mm. corto, con proyectil de 40 kg. de peso.*

Distancias. — *Metros.*	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — *Segundos.*	Velocidad remanente tangencial. — *m × 1″*	Energía del proyectil: Total. — *Tonelámetros*	Energía del proyectil: por cm. de circunferencia. — *Tonelámetros*	Energía del proyectil: por cm.³ de la esfera de igual diámetro. — *Kilográmetrs*	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: lateral. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: vertical. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: longitudinal. — *Metros.*
	Velocidad inicial: 270 m. × 1″.											
1000	4° 2′	4° 12′	0,0734	3,8	255	132,0	2,71	67,7	4,19	1,8	1,8	24
2000	8° 23′	9° 10′	0,1614	7,9	240	118,0	2,42	60,5	3,93	4	4	30
3000	13° 10′	14° 40′	0,2617	12,3	225	103,0	2,12	52,8	3,65	8	10	40
4000	19° 10′	22° 20′	0,4108	17,5	210	90,0	1,85	46,1	3,37	14	22	54
5000	28° 2′	34° 40′	0,6916	24,6	180	66,0	1,36	33,8	2,79	30	52	76
	Velocidad inicial: 240 m. × 1″.											
1000	4° 59′	5° 10′	0,0904	4,2	230	108,0	2,22	53,3	3,75	2,4	2,4	26
2000	10° 49′	11° 20′	0,2004	8,8	215	94,0	1,93	48,2	3,47	6	8	34
3000	17° 25′	18° 50′	0,3411	14,0	200	82,0	1,68	42,0	3,18	10	16	48
4000	27° 32′	29° 30′	0,5658	21,5	170	59,0	1,21	30,3	2,59	22	40	72
	Velocidad inicial: 200 m. × 1″.											
1000	7° 20′	7° 33′	0,1325	5,1	193	76,0	1,56	39,0	3,05	4	4	34
2000	16° 3′	16° 40′	0,2994	10,8	175	63,0	1,29	32,3	2,69	10	14	50
3000	29° 24′	31° 30′	0,6128	19,3	140	40,0	0,82	20,5	1,98	24	49	80
3440	45°	49° 15′	1,1606	27,4	171	600,0	1,23	30,7	2,61	35	»	94
	Velocidad inicial: 170 m. × 1″.											
1000	10° 20′	10° 50′	0,1914	6,2	160,0	52,3	1,07	26,9	2,38	»	»	»
2000	23° 38′	25° 16′	0,4720	13,6	153,0	48,0	0,98	24,6	2,24	»	»	»
2600	45°	48° 12′	1,1184	23,6	151,3	46,9	0,96	24,0	2,20	»	»	»
	Velocidad inicial: 140 m. × 1″.											
1000	15° 45′	16° 23′	0,2940	7,7	132,2	35,8	7,37	18,4	1,81	»	»	»
1500	26° 10′	27° 32′	0,5213	12,4	129,9	34,4	7,07	17,6	1,76	»	»	»
1840	45°	47° 15′	1,0818	19,7	129,0	34,0	6,99	17,4	1,74	»	»	»

DATOS *sobre el tiro curvo del cañón corto De Bange de 155 mm., disparando proyectil de 40 kg. de peso.*

Distancias. — *Metros.*	Velocidad inicial. — $m \times 1''$	Ángulos de caída. en grados.	Ángulos de caída. por sus tangentes.	Flecha ú ordenada máxima de la trayectoria. — *Metros.*	Tiempos ó duración de la trayectoria. — *Segundos.*	Velocidad remanente tangencial. — $m \times 1''$	Energía total del proyectil. — *Tonelámetros.*	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido lateral. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido longitudinal — *Metros.*
	Ángulo de proyección constante: 30°.									
1000	108,0	30° 59′	0,6005	146,7	10,9	102,4	21,4	1,22	7,3	44
1500	134,8	31° 30′	0,6128	222,7	13,5	124,3	31,6	1,65	11,3	56
2000	157,0	32° 1′	0,6253	300,8	15,6	141,2	40,8	2,00	15,3	65
2500	178,1	32° 32′	0,6379	379,7	17,6	156,1	49,8	2,30	19,7	74
3000	196,4	33° 4′	0,6511	459,0	19,4	168,1	57,7	2,54	24,0	83
	Ángulo de proyección constante: 45°.									
1000	101,7	46° 14′	1,0440	255,1	14,3	97,3	19,4	1,12	9,0	48
1500	125,8	46° 51′	1,0668	387,1	17,6	117,5	28,2	1,51	13,0	59
2000	147,2	47° 27′	1,0894	520,8	20,6	136,0	37,8	1,89	18,8	69
2500	166,3	48° 5′	1,1139	657,0	23,2	148,5	45,0	2,14	24,0	78
3000	185,0	48° 42′	1,1383	798,0	25,5	161,4	53,2	2,41	30,0	87
3500	202,0	49° 20′	1,1640	941,0	27,7	172,4	60,6	2,62	35,5	95
	Ángulo de proyección constante: 60°.									
1000	109,5	61° 13′	1,8202	443,0	18,9	104,7	22,4	1,26	12,8	45
1500	136,6	61° 49′	1,8663	674,5	23,4	127,7	33.2	1,72	20,0	57
2000	160,2	62° 24′	1,9128	909,8	25,8	147,9	44,6	2,13	27,0	67
2500	181,7	63°	1,9626	1151,2	29,2	162,2	53,7	2,42	35,0	76
3000	202,0	63° 34′	2,0115	1399,2	33,7	176,2	63,3	2,70	43,5	86

DATOS *sobre el tiro directo é indirecto del mortero De Bange de 220 mm., con proyectil de 98 kg. de peso.*

Distancias. — Metros.	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — Segundos.	Velocidad remanente tangencial. — m × 1″	Energía del proyectil: Total. — Tonelámetros	Energía del proyectil: por cm. de circunferencia. — Tonelámetros	Energía del proyectil: por cm.³ de la esfera de igual diámetro. — Kilográmetrs	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: lateral. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: vertical. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: longitudinal. — Metros.
	Velocidad inicial: 260 m. × 1″.											
500	1° 53′	1° 58′	0,0343	2,0	256	330	4,78	59,1	5,11	0,3	0,3	9,2
1000	4° 15′	4° 25′	0,0772	4,0	245	300	4,35	53,8	4,89	0,4	0,8	10,4
1500	6° 45′	7° 10′	0,1257	6,2	234	276	4,00	49,5	4,65	0,6	1,5	12,1
2000	9° 25′	10° 15′	0,1808	8,5	223	249	3,61	44,6	4,40	1,0	2,6	14,0
2500	12° 15′	13° 45′	0,2447	10,8	215	231	3,35	41,4	4,22	1,5	3,9	16,1
3000	15° 15′	17° 20′	0,3121	13,3	210	221	3,20	39,6	4,10	1,8	5,8	18,8
4000	22° 35′	25° 55′	0,4859	19,2	205	210	3,05	37,6	3,98	2,8	13,2	27,2
5000	34° 30′	40°	0,8391	27,7	200	200	2,90	35,9	3,87	6,4	»	40,8
5200	38° 10′	44°	0,9657	30,5	199	198	2,87	35,5	3,84	8,0	»	44,8
5200	50° 20′	56°	1,4826	37,7	204	208	3,02	37,4	3,96	14,2	»	52,8
5000	53° 50′	59° 10′	1,6753	39,6	209	218	3,16	39,1	4,08	15,6	»	56,0
	Velocidad inicial: 215 m. × 1″											
500	3° 20′	3° 42′	0,0647	2,5	189	179	2,59	32,1	3,61	0,3	0,8	11,1
1000	7° 10′	8° 10′	0,1435	5,2	172	148	2,15	26,5	3,19	0,6	1,8	13,0
1500	11° 7′	12° 45′	0,2263	7,9	170	144	2,09	25,8	3,15	0,7	3,5	15,3
2000	15° 15′	17° 25′	0,3137	10,8	168	141	2,05	25,2	3,10	1,2	5,8	18,4
2500	19° 39′	22° 27′	0,4132	13,9	170	144	2,09	25,8	3,15	2,0	9,6	23,2
3000	24° 30′	27° 50′	0,5280	17,2	173	150	2,17	26,9	3,21	2,8	15,8	30,0
3500	31° 10′	35° 2′	0,7006	21,5	174	152	2,20	27,2	3,25	4,4	»	39,4
3800	38°	42° 15′	0,9083	25,6	175	153	2,22	27,4	3,27	5,8	»	46,6
3800	47° 5′	49° 25′	1,1674	31,4	177	157	2,27	28,1	3,32	8,6	»	55,4
3500	56° 5′	60° 40′	1,7795	34,2	179	160	2,32	28,7	3,37	9,9	»	62,4
	Velocidad inicial: 155 m. × 1″											
1000	12° 15′	12° 50′	0,2278	6,9	152	116	1,68	20,8	2,70	0,8	4,2	18,2
1500	20° 45′	22° 35′	0,4159	11,1	149	111	1,63	19,9	2,63	1,5	8,8	21,0
2000	31° 45′	35° 45′	0,7199	16,3	147	108	1,56	19,4	2,58	2,8	17,8	24,8
2200	38° 25′	42° 30′	0,9163	19,2	146	107	1,55	19,2	2,55	3,8	24,6	26,8
2200	47° 30′	51° 35′	1,2609	23,8	145	105	1,52	18,8	2,52	6,2	»	35,2
2000	54° 45′	59° 15′	1,6808	25,7	146	107	1,55	19,2	2,55	7,2	»	37,6

DATOS *sobre el tiro curvo del mortero De Bange de 220 mm., con proyectil de 98 kg.*

Distancias. — *Metros.*	Velocidad inicial. — $m \times 1''$	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Flecha ú ordenada máxima de la trayectoria. — *Metros.*	Tiempos ó duración de la trayectoria. — *Segundos.*	Velocidad remanente tangencial. — $m \times 1''$	Energía total del proyectil. — *Tonelámetros.*	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido lateral. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido longitudinal — *Metros.*
	Ángulo de proyección constante: 30°.									
1000	108,2	30° 47′	0,5957	147	10,7	104,0	54,2	1,52	1,3	16,9
1500	133,8	31° 12′	0,6056	223	13,2	126,0	79,5	2,06	2,1	21,2
2000	156,6	31° 36′	0,6152	301	15,3	144,7	104,6	2,52	2,8	24,8
2500	175,2	31° 59′	0,6245	381	17,2	158,9	126,1	2,88	3,5	27,8
3000	193,2	32° 22′	0,6338	463	19,1	172,1	148,0	3,19	4,3	30,7
	Ángulo de proyección constante: 45°.									
1000	100,8	45° 56′	1,0331	255	14,2	97,6	47,7	1,37	1,6	18,4
1500	124,3	46° 22′	1,0489	387	17,6	118,7	70,3	1,88	2,5	22,6
2000	145,6	46° 52′	1,0674	521	20,3	136,6	93,2	2,33	3,4	26,5
2500	163,5	47° 19′	1,0843	657	22,9	151,0	114,0	2,68	4,3	29,7
3000	180,8	47° 47′	1,1022	792	25,1	164,3	135,0	3,01	5,3	32,9
	Ángulo de proyección constante: 60°.									
1000	108,2	60° 56′	1,7991	443	18,9	105,2	55,3	1,55	1,6	16,9
1500	134,6	61° 22′	1,8316	669	23,1	129,1	83,4	2,13	2,5	21,4
2000	157,3	61° 49′	1,8663	910	26,9	148,8	110,7	2,62	3,5	25,0
2500	178,4	62° 16′	1,9020	1152	30,2	166,4	138,3	3,06	4,5	28,2
3000	197,2	62° 42′	1,9375	1401	33,3	181,5	164,8	3,43	5,5	31,4

DATOS *sobre el tiro curvo del mortero De Bange, de 270 mm., con proyectil de 170 kg.*

Distancias. — *Metros.*	Velocidad inicial. — $m \times 1''$	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Flecha ú ordenada máxima de la trayectoria. — *Metros.*	Tiempos ó duración de la trayectoria. — *Segundos.*	Velocidad remanente tangencial. — $m \times 1''$	Energía total del proyectil. — *Tonelámetros.*	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido lateral. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido longitudinal — *Metros.*
	Angulo de proyección constante: 30°.									
1000	107,8	30° 55′	0,5989	145,7	10,8	103,2	92,3	1,74	»	»
1500	132,2	31° 22′	0,6096	219,5	13,5	124,8	135,3	2,34	»	»
2000	154,4	31° 49′	0,6204	295,4	15,5	142,3	176,0	2,84	»	»
2500	174,4	32° 17′	0,6318	372,1	17,3	152,1	201,0	3,12	»	»
3000	193,3	32° 45′	0,6432	451,0	19,1	169,1	248,5	3,60	»	»
	Angulo de proyección constante: 45°.									
1000	100,6	46° 55′	1,0692	252,9	14,2	94,1	77,0	1,48	»	»
1500	122,6	47° 10′	1,0786	382,1	17,8	118,3	121,6	2,16	»	»
2000	144,3	47° 25′	1,0881	514,1	20,3	136,1	161,0	2,67	»	»
2500	163,4	47° 40′	1,0977	646,5	22,8	150,5	196,6	3,08	»	»
3000	180,7	48° 13′	1,1191	779,7	25,2	161,8	227,5	3,41	»	»
3500	198,0	48° 46′	1,1409	916,1	27,2	174,0	262,5	3,75	»	»
4000	214,0	49° 19′	1,1633	1080,0	29,6	184,5	295,0	4,04	»	»
4500	229,4	49° 51′	1,1854	1225,1	31,5	193,8	326,0	4,30	»	»
5000	244,3	50° 23′	1,2031	1375,0	33,4	202,6	357,1	4,53	»	»
5200	250,0	50° 45′	1,2239	1425,0	34,1	206,0	368,8	4,63	»	»
	Angulo de proyección constante: 60°.									
1000	108,3	61° 5′	1,8102	439,6	18,5	104,8	95,3	1,78	»	»
1500	134,2	61° 35′	1,8482	664,3	23,1	128,0	142,2	2,43	»	»
2000	157,4	62° 6′	1,8837	893,1	26,9	147,8	189,8	3,01	»	»
2500	178,2	62° 37′	1,9306	1125,0	30,0	165,8	238,6	3,52	»	»
3000	198,1	63° 8′	1,9739	1361,3	33,1	169,9	280,4	3,91	»	»

Datos *sobre el tiro curvo del cañón corto De Bange de 155 mm., disparando granada-torpedo de 4 $^1/_2$ calibres de largo, 43,38 kg. de peso total, con 12 kg. de carga explosiva de melinita.*

Distancias. — *Metros.*	Velocidad inicial. — $m \times 1''$	Ángulos de caída. en grados.	Ángulos de caída. por sus tangentes.	Flecha ú ordenada máxima de la trayectoria. — *Metros.*	Tiempos ó duración de la trayectoría. — *Segundos.*	Velocidad remanente tangencial. — $m \times 1''$	Energía total del proyectil. — *Tonelámetros.*	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido lateral. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido longitudinal — *Metros.*
	Ángulo de proyección constante: 30°.									
1000	108,9	31° 5′	0,6028	147,0	10,9	102,8	23,4	1,33	»	»
1500	135,0	31° 38′	0,6160	223,0	13,5	123,7	33,8	1,78	»	»
2000	157,6	32° 11′	0,6293	302,0	15,7	140,6	43,8	2,15	»	»
2500	178,0	32° 46′	0,6436	381,0	17,6	154,5	52,9	2,46	»	»
	Ángulo de proyección constante: 45°.									
1000	102,0	46° 20′	1,0477	255,7	14,3	97,1	20,9	1,21	»	»
1500	125,5	47°	1,0724	388,0	17,8	116,5	30,1	1,62	»	»
2000	147,6	47° 40′	1,0977	522,4	20,7	133,7	39,6	2,00	»	»
2500	167,0	48° 21′	1,1243	660,5	23,3	147,6	48,3	2,31	»	»
	Ángulo de proyección constante: 60°.									
1000	110,2	61° 19′	1,8278	443,9	18,9	104,5	24,2	1,37	»	»
1500	137,2	61° 56′	1,8755	675,8	23,5	126,7	35,5	1,85	»	»
2000	161,0	62° 37′	1,9306	911,7	25,8	145,6	47,0	2,27	»	»
2500	182,3	63° 16′	1,9854	1402,7	29,1	161,3	57,8	2,61	»	»

Datos *sobre el tiro curvo del mortero De Bange de 220 mm., disparando granada-torpedo de 5 calibres de largo, 140 kilógramos de peso total, con 33 kg. de carga explosiva de melinita.*

Distancias. — Metros.	Velocidad inicial. — m × 1″.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Flecha ú ordenada máxima de la trayectoria. — Metros.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — Segundos.	Velocidad remanente tangencial. — m × 1″.	Energía total del proyectil. — Tonelámetros.	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido lateral. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido longitudinal. — Metros.
	Ángulo de proyección constante: 30°.									
1000	106,5	30° 38′	0,5922	145,5	10,8	102,9	75,8	2,14	»	»
1500	132,4	30° 57′	0,5997	220,0	13,4	123,6	112,8	2,94	»	»
2000	153,8	31° 17′	0,6076	296,0	15,6	143,5	147,3	3,66	»	»
2500	173,8	31° 37′	0,6156	372,0	17,4	159,4	181,8	4,14	»	»
3000	192,0	31° 57′	0,6237	450,3	19,2	173,3	214,5	4,62	»	»
	Ángulo de proyección constante: 45°.									
1000	101,6	45° 48′	1,0283	253,0	14,2	98,9	69,9	2,01	»	»
1500	124,3	46° 12′	1,0428	382,0	17,6	119,2	101,7	2,71	»	»
2000	144,3	46° 35′	1,0568	514,0	20,4	136,2	132,7	3,30	»	»
2500	162,3	46° 59′	1,0717	646,5	22,9	150,9	162,8	3,83	»	»
3000	179,6	47° 22′	1,0862	780,3	25,2	164,5	193,8	4,30	»	»
3500	195,1	47° 46′	1,1015	916,7	27,3	176,2	221,7	4,72	»	»
	Ángulo de proyección constante: 60°.									
1000	111,3	60° 48′	1,7893	439,6	18,7	108,1	83,6	2,32	»	»
1500	133,3	61° 11′	1,8177	665,0	23,1	127,4	116,2	2,99	»	»
2000	155,8	61° 33′	1,8456	894,4	27,0	147,0	154,6	2,69	»	»
2500	177,0	61° 57′	1,8768	1127,5	30,2	164,8	194,1	4,32	»	»
3000	195,6	62° 19′	1,9061	1362,6	33,4	179,2	230,0	4,83	»	»

Datos *sobre el tiro curvo del mortero De Bange de 270 mm., disparando granada-torpedo de 5 calibres de largo, 230 kilógramos de peso total, con 66 kg. de carga explosiva de melinita.*

Distancias. — Metros.	Velocidad inicial. — m. × 1''	Ángulos de caida. en grados.	Ángulos de caida. por sus tangentes.	Flecha ú ordenada máxima de la trayectoria. — Metros.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — Segundos.	Velocidad remanente tangencial. — m × 1''	Energía total del proyectil. — Tonelámetros.	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido lateral. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido longitudinal — Metros.
	Angulo de proyección constante: 30°.									
1000	107,3	30° 35′	0,5910	145,4	10,8	103,9	126,5	2,36	»	»
1500	132,1	30° 52′	0,5977	219,0	13,5	126,0	186,6	3,20	»	»
2000	153,6	31° 11′	0,6052	295,2	15,5	144,1	244,0	3,90	»	»
2500	173,5	31° 29′	0,6124	371,2	17,4	160,3	302,2	4,52	»	»
3000	191,2	31° 47′	0,6196	449,2	19,2	174,0	355,5	5,04	»	»
	Angulo de proyección constante: 45°.									
1000	100,7	45° 44′	1,0259	252,8	14,2	98,1	112,7	2,15	»	»
1500	124,3	46° 6′	1,0391	381,8	17,6	119,4	167,8	2,95	»	»
2000	144,3	46° 28′	1,0525	513,2	20,3	136,9	220,0	3,61	»	»
2500	162,6	46° 49′	1,0655	645,0	22,9	152,0	271,5	4,19	»	»
3000	179,0	47° 11′	1,0793	778,2	25,3	165,1	320,0	4,70	»	»
3500	194,7	47° 33′	1,0932	914,0	27,4	177,1	368,0	5,15	»	»
	Angulo de proyección constante: 60°.									
1000	111,2	60° 44′	1,7844	439,0	18,7	108,2	137,4	2,52	»	»
1500	133,3	61° 6′	1,8115	664,0	23,2	128,0	192,7	3,27	»	»
2000	155,7	61° 26′	1,8367	892,0	27,0	147,7	256,1	4,03	»	»
2500	175,8	61° 47′	1,8637	1123,5	30,2	164,2	316,4	4,46	»	»
3000	194,7	62° 8′	1,8913	1358,4	33,4	179,9	379,5	5,26	»	»

Procedimientos de ataque. Aunque, claro es, los métodos de ataque empleados por el ejército francés no difieren esencialmente de los que en todas partes se consideran como mejores, hay en Francia en mayor escala que en otras naciones una reglamentación, de la cual rara vez se apartarán en la práctica, y que refiriéndose principalmente á las distancias y á los tipos de obras, conviene conocer en sus líneas generales.

Tratemos primero del sitio regular, ó ataque industrial, que no se considera en Francia necesario más que contra plazas importantes, compuestas de un recinto y una línea exterior de fuertes destacados.

El sitio empieza por el *acordonamiento* (*investissement*) ó sea el establecimiento de las tropas sitiadoras alrededor de la plaza, generalmente precedido por una série de combates con las fuerzas móviles de la guarnición, para desalojarlas de las posiciones que ocupen en el exterior. La línea de cerco se divide en sectores y se establece á 5 ó 6000 metros de los fuertes: en ocasiones excepcionales se puede acercar á 3500 ó 4000 metros, nunca á menos distancia. El grueso de las tropas de cada sector se establece inmediatamente detrás de la línea atrincherada; las reservas mucho más á retaguardia, á 8 ó 10 kilómetros de los fuertes. Delante de la línea hay las avanzadas con el escalonamiento ordinario.

Los *parques* se establecen á 8000 metros de la plaza, ocultos á las vistas. Algunas veces se aproximan más, si lo permiten las condiciones topográficas. Los *depósitos intermedios* están á 3500 ó 4000 metros de la fortificación.

Las *baterías de primera posición* se establecen delante de la línea del cerco, pero protegidas por las avanzadas, que si es necesario se aproximan á la plaza, á distancia comprendida entre 2000 y 4000 metros de las obras de la defensa, prefiriendo en lo posible la menor distancia á la mayor. Están situadas en terreno fácilmente accesible y reunidas por grupos. Las baterías serán de cuatro á seis piezas cada una, de grueso calibre (cañón largo de 155 y mortero de 220), sostenidas por algunas baterías de campaña para tirar contra las salidas. A veces se establece un segundo escalón de baterías de primera posición, si la marcha del combate demuestra que las primeramente construídas están demasiado lejos para producir todo el efecto necesario.

La *primera paralela* á 800 ó 1000 metros de los salientes más avanzados de la fortificación, sirve para proteger las baterías de segunda posición y de base á los trabajos ulteriores de aproche.

Las *baterías de segunda posición*, entre 600 y 1500 metros de las fortificaciones. Se emplean los calibres medios (cañón de 120 y corto de 155) y también los pequeños (de 95 y 90), pero cuando el fuego de la plaza empiece á estinguirse, se reforzará el efecto destructor, aproximando las piezas de la primera posición. Si las defensas cuentan con fortificaciones acorazadas de gran resistencia, será tal vez preciso recurrir á las piezas de la porción complementaria (cañón de 220 y mortero de 270). Las baterías de segunda posición serán de enfilada, desmonte, brecha y fuegos curvos.

Los *trabajos de aproche* comprenden varias paralelas y los ramales en zig-zag que las unen. El número de las primeras se fija con la condición de que haya una al pie del glásis y que la distancia entre cada paralela y la que la precede, sea un poco menor que la que separa á la misma de la plaza. La penúltima paralela se substituye de ordinario por medias paralelas.

El *coronamiento del camino cubierto*, zapas en el glásis, bajada y paso de foso, tienen la disposición ordinaria y conocida.

Las *baterías normales* francesas son de tres tipos. La número 1, destinada especialmente á la primera posición, no tiene traveses; la número 2, para la segunda, tiene uno para cada dos piezas; la número 3 es *rápida* y tiene *traveses-relevos* entre pieza y pieza.

Tipo núm. 1.

- *Adarve*, enterrado 1 metro, ancho $7^m,80$, inclinación $^1/_{10}$ hácia atrás.
- *Intereje* de las piezas $6^m,72$ (12 cestones).
- *Pasadizo* de $0^m,50$ entre el parapeto y las ruedas de la cureña.
- *Talud interior* de la excavación $^4/_1$, revestido. Taludes posterior y laterales, pendiente natural.
- *Rampas de armamento*, inclinación $^1/_5$, ancho $1^m,80$ á $2^m,00$.
- *Parapeto*, espesor 7 á 8 metros; altura de la cresta interior sobre el adarve $2^m,40$.
- *Revestimiento* del talud interior, una fila de salchichones, una de cestones encima, sacos terreros ó tepes.

Tipo núm. 1. (Continuación.)

Berma interior de $0^m,30$.—*Plano de fuegos* horizontal.—*Talud* exterior, pendiente natural.

Cañoneras de poca profundidad en contrapendiente.—*Altura de rodillera*, según el montaje y el ángulo mínimo de tiro.

Paracascos de cestones llenos de faginas.

Depósitos de proyectiles, nichos en el talud interior entre las piezas.—*Depósitos de cartuchos*, en la comunicación.

Foso para proporcionar las tierras necesarias.—*Berma* de 1 metro.

Abrigos, fuera de la batería, uno para la confección ó modificación de cartuchos, en la comunicación; otro para los hombres.

Tipo núm. 2.

Como la número 1, salvo las diferiencias siguientes:

Traveses, 6 metros de espesor en la base, 4 metros en la parte superior; altura como el parapeto. Revestimiento como el del talud interior.

Paso detrás de los traveses de 1 metro de ancho y puede blindarse. Puede haber también paso blindado en la cabeza del través.

Depósitos de proyectiles, uno entre las dos piezas de cada sección; otro al lado de cada través, por la parte protegida.

Foso más ancho para dar las tierras de los traveses.

Tipo núm. 3.

Adarve rectangular de cada pieza $5^m,60 \times 7^m,00$. Se suprime el pasadizo adosado al talud interior. Enterrado 1 metro y para piezas aisladas $1^m,20$.

Traveses relevos de 5 metros de anchura en el terreno natural.

Paso detrás de los traveses de 1 metro.

Parapeto, espesor 6 á 7 metros, berma de 2 metros para poder aumentarlo si se quiere. Altura $1^m,30$, revestimiento sólo delante de las piezas.

Foso más ancho que en el tipo núm. 1.

Se puede contar próximamente con que durante la construccción de una batería están trabajando en el tipo núm. 1, 200 hombres, en el número 2, 280, y en el núm. 3, 240; suponiendo las baterías de cuatro piezas.

Dimensiones de las trincheras de ataque:

Paralelas.. . .	Profundidad de la trinchera..	$1^m,30$	Unas y otros pueden ser ejecutados á la zapa volante con ó sin cestones, ó á la zapa llena.
	Anchura en el fondo. . .	$3^m,00$	
	Altura del parapeto.. . .	$1^m,20$	
	Espesor en la cresta. . .	$3^m,50$ á $4^m,00$	
	Idem en la base..	$5^m,80$	
	Diferencia de nivel entre la cresta del parapeto y el fondo de la trinchera, junto al revés.	$2^m,60$	
	Distancia horizontal entre los mismos puntos cuando la paralela no tiene disposiciones para fusilería ni salidas.	$4^m,70$	
	Idem id. id. cuando hay banqueta con escalones para fusilería.. . .	$5^m,20$	
	Idem id. id. cuando hay escalones para salir de la trinchera..	$5^m,80$	
Ramales de comunicación..	Profundidad de la trinchera..	$1^m,30$	
	Anchura en el fondo. . .	$2^m,00$ á $2^m,50$	
	Altura del parapeto.. . .	$1^m,20$	
	Espesor en la cresta. . .	$2^m,00$ á $2^m,50$	
	Idem en la base..	$4^m,50$	

Cabeza de zapa llena (à terre roulante)	Profundidad de la trinchera	$1^m,30$
	Anchura de la forma en el fondo	$1^m,30$
	Espesor del parapeto en la cresta	$0^m,80$
	Idem id. en la base	$2^m,30$
	Altura del parapeto-máscara	$0^m,80$

Medios de ataque irregulares. En Francia se admiten como tales la *sorpresa*, el *ataque á viva fuerza*, el *bombardeo* y el *bloqueo*.

La *sorpresa* no ofrece ninguna particularidad que afecte esencialmente al armamento de las plazas. Los libros y reglamentos franceses aconsejan intentarla al amanecer.

El *ataque á viva fuerza* se emplea principalmente contra fortificaciones de campaña, contra las mixtas ó provisionales, y aún contra las permanentes si éstas no se encuentran, por su organización, al abrigo de la escalada, si su armamento es insuficiente ó la guarnición débil y desmoralizada. Supone en el asaltante gran superioridad en personal y material. También se admite su empleo cuando la ocupación de la fortaleza, aunque bien defendida, es tan indispensable que exige toda clase de sacrificios para obtenerla.

El asalto es precedido por un cañoneo enérgico. Las baterías del agresor, construídas y armadas de noche, se establecen á distancias comprendidas entre 1500 y 2000 metros, en puntos dominantes para el tiro directo, detrás de objetos ó pliegues que las cubran si han de emplear el indirecto. Es natural que se empleen principalmente, en este cañoneo, las piezas de campaña, pero también debe contarse con que casi siempre concurrirán á él cañones y obuses ligeros del tren de sitio. Según los casos, el cañoneo durará algunas horas y el asalto se dará el mismo día que se ha iniciado el ataque, ó bien aquel se prolongará por dos, tres ó más días para asegurar el predominio del agresor, desmoralizar á la guarnición y asegurar el éxito. En cuanto á la ejecución del asalto, nada hay que observar especialmente, pues los medios que se aconsejan en Francia son los admitidos en todas partes.

El *bombardeo* se admite como medio de ataque eficaz en muchas ocasiones, especialmente cuando los tiros pueden alcanzar á los núcleos de población de una ciudad populosa y los habitantes de ésta por su número y carácter pueden influir sobre el gobernador para que la guarnición no extreme la resistencia. La artillería de campaña se considera como insuficiente para un bombardeo, y buena sólo para ayudar á la de sitio. Las baterías se distribuyen, arman y construyen como las de primera posición de un sitio regular y á las mismas distancias próximamente. El fuego se rompe simultáneamente y se suspende de cuando en cuando, por algunas horas, para que el efecto moral producido pueda tener consecuencias.

El *bloqueo* es del todo semejante al cerco que precede, ó debe preceder, á todo sitio regular; las líneas se establecen del mismo modo y únicamente se puede admitir que su distancia á la plaza será, en general, algo mayor por no estar destinadas á preparar ni proteger ulteriores aproches (10).

Otras piezas de sitio. 1.º—La artillería portuguesa cuenta con las siguientes piezas de sitio:

Cañones de acero de 15 cm. Krupp. Son los mismos que existen en España y de que se ha tratado en el capítulo II. Sus dimensiones se encuentran en la página 44 y sus datos de tiro en la 49.

Cañones de bronce, de sitio, de 12 cm., modelo 1872. Son análogos á los cañones de 12 cm., cortos, de avancarga, de que se hablará en el capítulo V.

Hay además otros cañones largos de bronce de 12 cm. (modelo 1872), y 15 cm. (modelo 1882), destinados al servicio de plaza, análogos á los anteriores, es decir, rayados de avancarga.

Morteros lisos de bronce, de calibres irregulares, análogos á los nuestros, de que se hablará en el capítulo V.

Obuses lisos de bronce de las mismas condiciones.

---

(10) Las indicaciones sobre los procedimientos de ataque reglamentarios ó aconsejados en Francia, no tienen aquí mas objeto que recordar la marcha general y fijar las distancias á que se situarán las obras del agresor y la organización de éstas. Acerca de las baterías normales hay que observar que los tres tipos reglamentarios datan de una circular del 10 de Mayo de 1880, y que ignoramos si después de 1886 se han modificado reforzándolos, como parece probable, aunque sin duda la disposición y dimensiones generales no deben haber variado en lo esencial.

No es probable que en una guerra que tuviésemos con Portugal el ejército de esta nación sitiase nuestras plazas con un material como el indicado, que es á todas luces deficiente. Seguramente se emplearía el tren de sitio de un ejército aliado, ó adquirirían piezas de fabricación Krupp ó de los establecimientos franceses.

2.º—Piezas Krupp de sitio más modernas.

		Cañón de 10½ cm. L/35.	Cañón ligero de 12 cm. L/25.	Cañón de 15 cm L/30.	Obús de 15 cm. L/12.	Obús de 21 cm. L/12.	Mortero de sitio de 15 cm.	Mortero de sitio de 21 cm.	Mortero de sitio de 24 cm.	Obús de campaña de 12 cm.	Mortero de campaña de 15 cm.
PIEZA.	Calibre. . . . . mm.	105	120	149,1	149,1	209,3	149,1	209,3	240	120	149,1
	Longitud total de la pieza . . . . . mm.	3680	3000	4470	1760	2465	950	1330	1520	1400	1250
	Longitud del ánima. mm.	3380	2700	4065	1500	2025	750	1050	1200	1200	1050
	Peso de la pieza . . . kg.	1175	1115	3350	1120	3030	360	1000	1700	450	450
Peso del proyectil. . . . . kg.		16	16,4	40	31,5	91»140	31,5	91»140	136»215	20	40
Velocidad inicial . . . . . m.×1″.		607	490(*)	613	300	300	200	200	200	290	200
MONTAJE.	Clase de montaje.	Cureña alta de ruedas.	Cureña de eclipse con ruedas.	Cureña alta de ruedas.	Cureña alta de ruedas.	Afuste sin retroceso (**).	Afuste sin retroceso.	Afuste sin retroceso.	Afuste sin retroceso.	Cureña de campaña.	Cureña de campaña.
	Peso. . . . . kg.	1440	2900	2550	1100	1846	370	950	1550	590	620
	Elevación máxima.	+ 35°	+ 35°	+ 35°	+ 35°	+ 60°	+ 60°	+ 60°	+ 60°	+ 45°	+ 45°
	Elevación mínima.	— 5°	— 5°	— 5°	— 10°	— 3°	+ 20°	+ 25°	— 3°	± 0°	± 0°

(*) Con carga de pólvora antigua; en las demás piezas, las velocidades indicadas corresponden á cargas de pólvora sin humo, Nobel (C/89).

(**) Tiene también cureña alta de ruedas de peso 2000 kg., que permite ángulos $\left\{ \begin{array}{l} +35^\circ \\ -5^\circ \end{array} \right.$

Los proyectiles son:

Para los cañones.. .
- Granada ordinaria de fundición.
- Granada ordinaria de acero.
- Granada perforante de acero.
- Shrapnel de acero.

Para los obuses y morteros. . . . . .
- Granada ordinaria de fundición.
- Granada ordinaria de acero.
- Shrapnel de acero.
- Granada-fogata de acero (de mayor peso).

3.º—Piezas Canet de sitio, algunas de ellas presentadas en la Exposición de 1889 por la Sociedad «Forges et Chantiers de la Mediterranée».

		Cañón de 12 cm.	Cañón corto de 15 cm.	Cañón largo de 15 cm.	Obús de 15 cm.	Mortero de 15 cm.	Obús de campaña de 10 cm.	Mortero de campaña de 15 cm. (*).
PIEZA.	Calibre. . . . . mm.	120	150	150	150	150	100	150
	Longitud total de la pieza. . . mm.	3120	2700	3900	1800	1200	1300	1200
	Peso de la pieza. kg.	1430	1650	2750	820	440	290	390
Peso del proyectil. kg.		18	35	35	32	32	9,5	32
Velocidad inicial. . *m.* × 1″.		560	400	520	300	200	300	200
MONTAJE.	Clase de montaje..	Cureña alta de ruedas.	»	»	»	»	Cureña de campaña.	Cureña de campaña.
	Peso. . . . . kg.	1650	»	»	»	»	595	865
	Elevación máxima.. . . .	»	»	»	»	»	+ 50°	+ 50°
	Elevación mínima.	»	»	»	»	»	± 0°	± 0°

(*) El obús de 10 y el mortero de 15 cm. forman parte, con un cañón de 7,5 cm. *L*/24, del material de campaña encargado á Canet por el Brasil.

4.º—Las Sociedades francesas «Anciens Etablissements Cail» y «Saint-Chamond» fabrican piezas del sistema De Bange, análogas á las reglamentarias en el ejército francés. Encontramos sin embargo entre el material presentado por la segunda en la Exposición de 1889, un *mortero ligero de 155* sobre afuste sin retroceso, que no está comprendido en aquel y cuyos datos son:

Pieza.	Calibre..	155 mm.
	Longitud total.	1145 mm.
	Peso.	388 kg.
Peso del proyectil..		40 kg.

Velocidad inicial máxima. . . . . 200 *m.* × 1″.

Montaje. . . . . { Peso del afuste. . . . . 360 kg.
Ángulos. . . . . { + 60°
+ 10°

5.°—Piezas de sitio de la artillería inglesa.

PIEZA.		Cañón de 4 pulg. 13 qq. retro-carga. 1884.	Cañón de 4 pulg. 22 qq. retro-carga. 1884.	Cañón de 5 pulg. 36 qq. retro-carga. 1884.	Cañón de 6 pulg. 80 qq. retro-carga. 1884.	Obús de 6,3 pulg. 18 qq. avan-carga. 1874.	Obús de 6,6 pulg. 36 qq. avan-carga. 1878.	Obús de 8 pulg. 46 qq. avan-carga. 1872.	Obús de 8 pulg. 70 qq. avan-carga. 1878.
Calibre.	mm.	101,6	101,6	127	152,4	160,3	167,6	203,2	203,2
Longitud total. . .	mm.	1676	3048	3543	4206	1422	2303,7	1625,5	2870,1
Peso de la pieza. . .	kg.	660	1120	1850	4050	914	1829	2337	3556
Peso del proyectil. . . .	kg.	11,3	11,3	22,7	36,3	31,3	45	81,9	81,9
Velocidad inicial.	*m.* × 1″.	360	590	550	584	212	225	240	290

NOTA. Parece que hay en ensayo obuses de retrocarga de 6, 7 y 8 pulg., que disparan proyectiles de 36, 57 y 86 kg. respectivamente. El peso del de mayor calibre es 3560 kg.

6.°—Piezas de sitio de la artillería italiana (retrocarga).

		Cañón de 9 cm. acero.	Cañón de 12 cm. bronce.	Cañón de 12 cm. acero.	Cañón de 12 cm. hierro sunchado.	Cañón de 15 cm. hierro sunchado.	Obús de 15 cm. hierro.	Obús de 21 cm. hierro sunchado.	Mortero de 9 cm. bronce.	Mortero de 15 cm. acero.	Mortero de 24 cm. acero.
PIEZA.	Calibre.. . mm.	87	120	120	120	149,1	149,1	210	87	149,1	240
	Longitud total. . . mm.	2100	2815	2815	2815	3438	2111	2856	636	950	1587
	Longitud del ánima. . . . mm.	1875	2599	2599	2599	3186	1859	2527	530	750	1200
	Peso de la pieza. . . kg.	492	1206	1400	1530	3300	1442	3111	103	365	1750
Peso del proyectil. . . . . kg.		6,76	16,48	16,48	16,48	30,4	30,4	79,1»165,4(*)	6,76	30,4	118,9
Velocidad inicial. . . . . $m. \times 1''$.		454	448	485	485	510	260	248,6	180	200	230
MONTAJE.	Peso del montaje.. kg.	1232	1232	1484	1484	1898	1484	1898	125	440	1600
	Ángulo máximo de elevación.	+ 35°	+ 35°	+ 45°	+ 45°	+ 35°	+ 45°	+ 35°	+ 60°	+ 60°	+ 60°
	Ángulo mínimo de elevación.	— 10°	— 10°	— 10°	— 10°	— 10°	— 10°	— 10°	»	»	»
	Clase de montaje. .	Cureña alta de ruedas.							Afuste rastra.		

(*) Granada-torpedo.

Las piezas de sitio italianas son, como se vé, muy semejantes en condiciones balísticas á las nuestras y están fundadas en idénticos principios.

Conviene hacer notar que sólo hay tres modelos de cureñas de sitio, uno sirve para el cañón de 9 y el de bronce de 12, otro para los de 12 de acero y hierro y para el obús de 15, y el tercero para el cañón de 15 y obús de 21.

CAPÍTULO CUARTO.

TANTEOS DE ARMAMENTO.[11]

CONSIDERACIONES GENERALES Y FUNDAMENTALES. Es muy natural que al reunirse la Junta mixta local de armamento de una plaza, presidida por el gobernador militar llamado á dirigir su defensa, y formada por los jefes de ingenieros y artillería encargados de todo lo relativo á la fortificación y al servicio de las piezas, esta corporación manifieste tendencia, laudable en cierto modo desde su punto de vista especial, á exagerar la importancia de la fortaleza, olvidar que existen otras muchas construídas, en construcción, ó que estando en proyecto habrán de venir á combinarse con aquellas, y formar todas, debidamente relacionadas, el sistema defensivo de la nación, y reclamar para *su plaza* un armamento exagerado por el número y por la potencia de las piezas que lo constituyen.

Si hubiese pocas obras de fortificación que construir y artillar, y la nación fuese rica, no serían muy graves tales exageraciones; pero no siendo, por desgracia, muy abundantes los recursos que el Erario público proporciona para ir atendiendo muy lentamente á las necesidades defensivas, se impone la más previsora economía en el empleo de los elementos materiales que han de poner á las plazas en aptitud de llenar su cometido. Pedir seis piezas para donde bastan cnatro, y sobre todo, poner un cañón grueso y potente con exceso para el objeto que ha de cumplir, donde se obtiene el efecto suficiente con uno más ligero y que cueste la mitad, es ir directamente contra la economía que debe presidir

(11) Véase el *Reglamento para el servicio mixto de los Cuerpos de Artillería é Ingenieros*, aprobado por Real orden circular de 22 de Abril de 1889 (*C. L.* núm. 164), artículos segundo y quinto especialmente. Véase también la Real orden de 20 de Diciembre del mismo año (*C. L.* núm. 645).

en tales estudios, y que es la única manera de obtener un resultado práctico y eficaz. Gastar mucho en una fortaleza, aunque sea muy importante, para no poder después dotar á las otras de la misma región de lo más indispensable, porque todos los recursos disponibles se han invertido en aquella, es, á no dudar, una imprevisión y el medio más seguro de que el día en que la guerra pusiera á prueba tal organización se demostrasen de la manera más dolorosa sus defectos.

El armamento de un recinto, de un fuerte, de una obra cualquiera de fortificación, ó el de una posición formada por varias obras, debe cumplir con dos objetos bien distintos. Uno es sostener la lucha con las piezas del sitiador, desmontarlas, destruir los parapetos que las protegen, poner fuera de combate el personal que las sirve, inutilizar las municiones preparadas para el fuego, y de esta manera preservar á la fortificación y á las tropas que la defienden de la acción violenta y rápidamente destructora del tiro enemigo. Otro es dificultar el ataque paso á paso ó industrial, imposibilitar el asalto á viva fuerza, tirando contínua y eficazmente á los trabajos de aproche, y deteniendo con fuego vivísimo y mortífero á las tropas asaltantes. Claro es que dos cometidos tan diversos deben confiarse en principio á distintas clases de piezas.

Ante todo conviene desvanecer un prejuicio muy extendido, pero en nuestro concepto esencialmente erróneo, que se refiere al medio de obtener la superioridad en el fuego, de la artillería de la defensa sobre la del ataque. Es muy común afirmar que las piezas de plaza destinadas al combate de artillería, deben ser de potencia (algunas veces se dice *calibre*) superior á la que tengan las bocas de fuego más potentes que puede presentar el sitiador, como si la lucha fuera á decidirse por el choque de proyectil con proyectil en el aire. Porque el cañón del sitiador dé á su granada una energía inicial de 400 tonelámetros, no es necesario oponerle otro que tenga 600 tonelámetros. Á los 400, que en el choque estarán reducidos á 250 ó ménos, opóngase una masa cubridora, parapeto ó coraza, que detenga al proyectil y absorba toda su fuerza viva, y demos á nuestro cañón la energía necesaria para cumplir bien sus cometidos de desmontar la pieza, herir el personal y destruir el parapeto. Para lo primero basta con muy poco, la granada de un cañón ligero de campaña, chocando con cualquiera de los órganos del cañón ó de la cu-

reña enemigos, bastará para ponerlos fuera de servicio; para lo segundo es eficaz cualquier granada que se fragmente bien y mejor aún el shrapnel, aunque sea de pequeño calibre; para lo tercero no debe olvidarse que los parapetos de las baterías del ataque se destruyen mejor por el efecto explosivo de los proyectiles huecos, que por la perforación completa debida á un exceso de energía. Parece, pues, fuera de duda que el prejuicio á que aludimos es erróneo y que debe ser substituído por el principio de que á los macizos protectores de la fortificación les corresponde resistir á la energía del cañón del ataque, mientras que las piezas de la defensa deben tener la potencia suficiente para obrar con eficacia contra las baterías y demás trabajos del sitiador (12).

Otra preocupación muy extendida es la de atribuir una importancia excesiva al alcance de las piezas, ya se supongan empleadas por el ataque ó por la defensa. Es cierto que los cañones modernos, cuyo proyectil tiene una densidad de sección considerable, que le permite vencer fácilmente la resistencia del aire, y es arrojado con velocidad inicial de más de 500 metros, si se apuntan por el ángulo máximo de elevación que permite la cureña de sitio, de 30 á 36 grados, tienen un alcance total de 8 á 9 kilómetros; pero es desconocer las condiciones en que se hace el tiro de la artillería, suponer que un fuego á tal distancia puede tener algo que se parezca á eficacia, salvo en casos rarísimos, uno de ellos el de bombardear una ciudad de gran extensión. A 8 ó 9000 metros la observación y corrección del tiro es muy difícil y es poco ménos que imposible *centrarlo*, condición indispensable ésta para que pueda obtenerse el máximo efecto de probabilidad, con arreglo á lo que ofrecen las tablas de tiro en las columnas que dan las dimensiones de las zonas que contienen el 50 por 100 de los disparos. Pero aún suponiendo que se consiguiese tan problemático centramiento, la probabilidad de tiro que se obtiene es irrisoria; para comprobarlo, véase el resultado que ofrece un cálculo hecho para demostrar la verdad que aquí se afirma en un caso particular:

---

(12) El principio que aquí sentamos ha sido aceptado por la Junta Superior Consultiva de Guerra en varios dictámenes relativos al armamento de diversos fuertes, especialmente en los que llevan las fechas de 15 y 19 de Noviembre de 1890, 29 de Junio de 1891, 3 de Marzo, 26 de Abril, 20 de Mayo y 9 Julio de 1892.

Pieza que se supone empleada por el ataque. . .	El cañón largo francés de 155.
Blanco.	Un cañón español de bronce comprimido de 15 cm. en cureña de sitio.
Distancia.	9200 metros.
Diferencia de nivel.	300 metros más alta la pieza que el blanco.
Ángulo de proyección. . .	29° 44′
Ángulo de arribada.. . . .	42° 46′
Dimensiones del rectángulo vertical equivalente al blanco (13).	3 metros de alto por 2 metros de ancho.
Probabilidad compuesta. .	$P\,(0{,}044) \times P\,(0{,}047) = 0{,}022 \times 0{,}0235 = 0{,}00051.$

Es decir, que la probabilidad de desmontar una pieza en condiciones muy favorables de dominación, suponiendo que se hubiese conseguido centrar ó corregir el tiro, sería de 51 por 100.000, ó sea, próximamente, de 1 por 2000. Un cañoneo en tales condiciones sólo puede conducir á gastar proyectiles sin resultado alguno práctico.

Puede, pues, afirmarse que el combate de artillería no se verificará nunca á la distancia de máximo alcance. Por mucho que se mejore técnicamente el material, habrá que contar siempre con las inevitables imperfecciones que acompañan á todo lo que es obra humana, y que se opondrán á que los proyectiles sean idénticamente iguales en forma, peso, distribución interior de la materia y disposición de la carga explosiva; á que los cartuchos contengan cargas de proyección exactamente iguales; á que no haya pequeñas diferencias en el rayado, en la recámara; á que la puntería dé la repetición exacta de la posición de la pieza de un disparo á otro, y por lo tanto, no se puede contar con que las condiciones iniciales del tiro, coeficiente balístico, velocidad inicial y ángulo de proyección, sean siempre matemáticamente las mismas, como sería indispensable para que los proyectiles recorran exactamente la misma trayectoria en una serie de disparos. Pero aunque así no fuese, aunque se obtuviera

(13) Proyección del blanco sobre un plano vertical, empleando como rectas proyectantes, paralelas á la tangente á la trayectoria en el punto de arribada. La figura del blanco se supone, para simplificar el cálculo, circunscrita por un rectángulo de lados horizontales y verticales.

esa constancia absoluta é imposible en las condiciones iniciales del tiro, no bastaría para que éste tuviese precisión á larga distancia, pues quedan las irregularidades y cambios en la densidad del aire, en los movimientos de la atmósfera, que se opondrían á ello, y que si á cortas distancias no hacen sentir demasiado su influjo, á las largas, superponiéndose las causas de error, llegan á producir enormes dispersiones, mucho mayores que las que prometen en sus datos, calculados para las circunstancias normales, las tablas de tiro.

Aún la distancia de 4000 metros, máxima que se admite para la primera posición de la artillería, es demasiado grande para que puedan obtenerse en el combate efectos rápidamente decisivos, y las baterías que se sitúen en tales condiciones no pueden aspirar más que á hacer un fuego preparatorio. El verdadero combate tiene que empeñarse entre los 1200 y los 2500 metros, y con ello hay que contar siempre al fijar las piezas que deben constituir el armamento de una obra de fortificación.

En principio debe considerarse más ventajoso emplear el menor calibre con preferencia al mayor; el cañón de 12 mejor que el de 15; el obús y mortero de 15 mejor que los de 21. Esto no excluye, claro es, que se utilice la superior potencia de las piezas mayores cuando sea necesario, pero siempre con parsimonia, precediendo la demostración de tal necesidad (14).

Para sostener la conveniencia de piezas grandes y potentes, se ha alegado algunas veces que el sitiador podrá emplearlas. Se recuerda el cañón francés de 220, y hasta se supone que el agresor llevará por ferrocarril piezas de costa de 24 á 30 cm., para adquirir superioridad sobre la artillería defensora desde largas distancias. Ya hemos dicho antes lo que opinamos de esa superioridad y lo que nos parece de tal lucha de fuerzas vivas, pero además conviene poner en su punto temores que tienen tanto de exagerados. El cañón de 220 es una pieza *de uso excepcional* (véase pág. 59), destinada sin duda alguna á tirar *desde cerca* contra fortificaciones acorazadas, y que no se empleará de ordinario porque su arrastre, y sobre todo su instalación en batería, habrían de pre-

(14) El general de artillería del ejército bávaro, Von Sauer, autor de notables escritos sobre el ataque y defensa de las plazas, sostiene con gran convicción que el cañón de 12 cm. basta para todas las necesidades del tiro directo en la defensa.

sentar dificultades de consideración; pero estas dificultades se convertirían en enormes, y tal vez llegasen á la imposibilidad, si se tratase de atacar las plazas con piezas de treinta y tantas toneladas de peso, con montaje de otro tanto ó más, que exigen una cimentación para la explanada que es obra, no de horas, ni de días, sino de meses, y en que el servicio es lento, exige un personal numeroso y el municionamiento muy difícil (15).

También se ha indicado alguna vez, y citando como autoridad al general Brialmont, que el sitiador puede acorazar sus baterías de ataque, y que será necesario para batirlas emplear piezas de potencia adecuada. Es verdad que el general Brialmont, en su obra de 1885 (16), indicó esta posibilidad; pero también lo es que la misma indicación había hecho en 1863 (17), fundándose sin duda en el ejemplo entonces reciente de la batería Atrattina del sitio de Gaeta, que ha quedado único, porque las dificultades para construir baterías de sitio acorazadas son, si no insuperables, de mucha entidad, y porque realmente no parece necesario. Si se usan planchas de gran espesor, la construcción se hace imposible, y si se recurre á las de poco grueso ó á las combinaciones de barras de hierro entrelazadas, entonces no se necesita mucha fuerza viva en el proyectil para perforarlas, romperlas ó descomponer y quebrantar las uniones, pernos y enlaces. Por otra parte, el cañón de 15 cm., de bronce comprimido, atraviesa á 1500 metros 14 centímetros y medio de hierro, y á 2000 más de 13, y á las mismas distancias respectivamente perfora 10 y 8 planchas del mismo metal, superpuestas, de una pulgada inglesa de espesor cada una, siendo algo menor, pero aún suficiente, el efecto que puede dar el cañón de 12 cm.

Debe, pues, admitirse que las piezas que hemos llamado *artillería de plaza normal*, y cuyos datos se encuentran en el cuadro de las páginas 12 y 13, bastan para todas las necesidades de la defensa, no siendo necesario recurrir á otras de mayor potencia. Conviene, pues, dejar para su

---

(15) Al decir esto, no ignoramos que el coronel De Bange, en una conferencia dada en el *Cercle des armées de terre et de mer*, de Paris, en 1886, propuso atacar las plazas con su cañón de 34 cm. (que por cierto no tuvo éxito en su fabricación y tuvo que ser substituído por otro de 32 cm.); pero creemos que nadie ha tomado en serio tal propuesta, que tenía algo de reclamo.

(16) *La fortification du temps présent.*

(17) *Etudes sur la défense des Etats et sur la fortification.*

servicio peculiar de costa el cañón de hierro entubado de 15 cm., modelo de 1885 (18), cuya potencia es excesiva para plaza terrestre, y cuyo peso y montaje son poco adecuados para el servicio en los fuertes no marítimos. El gran tamaño que presenta el cañón con su cureña y marco lo exponen, presentando blanco excesivo, á ser rápidamente desmontado por la artillería del ataque desde la segunda y hasta desde la primera posición, y para evitarlo no queda el recurso que se tiene con los cañones que están sobre cureña de ruedas, de retirarlos del adarve y esconderlos, para volver al fuego cuando sea ocasión oportuna, porque á esta maniobra se opone la fijeza del montaje de marco y el peso considerable del conjunto.

Es cierto que en algunos fuertes se ha admitido para la dotación el cañón entubado de 15 cm., pero no debe olvidarse en qué circunstancias tuvo esto lugar. Adoptada la pieza como reglamentaria en 1885, cuando no lo estaba ninguna de las que hoy constituyen la artillería normal de plaza, era natural que se la prefiriese al cañón sunchado del mismo calibre y al de bronce reformado de 14, y se aceptó por no haber cosa mejor y más apropiada, no porque fuese la verdadera solución de la artillería de plaza (19), sin contar que por entonces aún no se habían abierto paso, como se lo abrieron después, las ideas modernas sobre movilidad de la artillería defensora. Hoy ya no sucede lo mismo, y adoptadas todas las piezas de bronce comprimido que constituyen la artillería de sitio y plaza, de ellas deben tomarse las que se asignen para el armamento de los fuertes.

Queda por tratar otra cuestión, que en algunas ocasiones se ha presentado y que ha dado lugar á dudas y discusiones al tratar del armamento que conviene á algunos fuertes. Las plazas marítimas de doble frente, es decir, con defensas hácia el mar y hácia tierra, pueden tener algún fuerte que, perteneciendo á los sectores de la defensa contra los ataques por tierra, no esté sin embargo muy lejos del mar; y lo mismo puede suceder en posiciones que propiamente son terrestres, y que, sin embargo, no están lejos de la costa. Estos fuertes, por el mero hecho de

---

(18) Véase *Apuntes sobre defensa de las costas. Estudio de las baterías al descubierto*, págs. 35 y siguientes.

(19) Nos permitiremos observar que da lugar á alguna confusión la denominación de *cañones de plaza y costa*. Los destinados especialmente á tirar contra los barcos deberían llamarse sólo *de costa*.

estar á distancia relativamente corta del mar y poder ser alcanzados por los disparos hechos desde un buque enemigo que se sitúe convenientemente, ¿deben ser provistos en todos los casos de armamento de costa apropiado para contestar á las agresiones de la marina?

En nuestro concepto la cuestión no puede resolverse de un modo uniforme en todos los casos y requiere un estudio especial de cada uno, para proponer la solución más conveniente. Si la posición ocupada por el fuerte está situada de tal modo que tiene acción é influencia en la defensa del puerto ó bahía, no cabe duda que deberá recibir armamento de costa; pero convendría que éste estuviese completamente separado del de plaza, para que el servicio se hiciese con entera independencia, y hasta si posible fuera, establecerlo en una batería separada y exterior al fuerte. Si no es así, si sólo tiene el fuerte proximidad á la costa, no hay que dar importancia exagerada al riesgo de que uno ó más buques enemigos le dirijan desde el mar algunos disparos, pues la dotación de municiones que llevan los barcos de guerra es escasa, de 40 á 60 proyectiles por pieza, lo que sólo les permite tomar parte en un combate de pocas horas, no en los cañoneos prolongados por muchos días, que son los que deciden en la defensa de las plazas terrestres.

El riesgo todavía disminuye si el fuerte está situado en una altura de elevación considerable, pues entonces el tiro de los buques se hace en muy malas condiciones. Véanse, en efecto, los datos de un caso particular, calculados precisamente para demostrar lo que aquí sostenemos.

Cañón empleado.	El de acero de 24 cm., modelo 1881, de la marina francesa.	
Altura del fuerte.	200 metros.	
Distancias á que se supone el tiro..	3000 metros.	5000 metros.
Ángulo de proyección que deberá emplearse..	6° 40′	8° 23′
Ángulo de arribada..	0° 1′	6° 57′
Dirección en que llega el proyectil.	ascendente.	descendente.
Dispersión vertical de los disparos.	30 metros.	74,4 metros.

A ménos de 3000 metros, y aún á esta distancia, el tiro sería ineficaz por la dirección ascendente con que llegaría el proyectil, y más lejos,

por la enorme dispersión vertical de los disparos, aumentada seguramente por la inseguridad de la plataforma que los buques ofrecen á las piezas de artillería, lo que haría que se aprovechasen muy pocos proyectiles. No es de creer, por lo tanto, que la marina del agresor malgastase sus municiones, cuya provisión no es muy abundante, en cañonear inútilmente á un fuerte en tales condiciones. Contra esta contingencia, además, el fuerte no estaría desarmado, si se tiene cuidado de poner en el frente de mar algunas explanadas, que en caso necesario serían ocupadas por los cañones de su dotación, de 15 y 12 cm., cuyo efecto no es despreciable para los barcos y si además se dirigen contra éstos algunas granadas por elevación, por medio de los obuses (20).

En el caso excepcional de que por circunstancias muy especiales debiese temerse que buques de guerra enemigos contribuyesen al combate de artillería contra un fuerte, se debería contrarrestar su acción con piezas de costa, pero no situarlas en el fuerte, donde siempre perturbarían la acción de las piezas que han de tirar contra tierra, sinó en una batería especial, cuya situación se elegiría para que desempeñase convenientemente las funciones que se le asignan.

Elección de piezas y calibres para el combate de artillería. Ya queda dicho, en el capítulo I, que las bocas de fuego pueden ser *cañones*, *obuses* ó *morteros*.

El *cañón* está especialmente destinado al tiro directo, y de ordinario su blanco es vertical, formado por parapetos de baterías ó trincheras de ataque, edificios, etc., objetos resistentes que debe atravesar, gracias á la energía de que vá animado el proyectil, y que destruye además éste por la dispersión que en los macizos produce la explosión de la granada, debida á la carga de pólvora que contiene. Bueno es advertir que casi nunca se completa la penetración de que sería capaz el proyectil si no fuese explosivo, pues la espoleta de percusión inflama la carga una fracción pequeña de segundo después del choque y por lo tanto la granada estalla á poca profundidad en el macizo.

Claro es que á largas distancias, pasados los 3000 metros, en los caño-

(20) Este mismo criterio sobre los fuertes de acción terrestre, próximos al mar, ha sido el aceptado por la Junta Superior Consultiva de Guerra, especialmente en sus dictámenes de 29 de Junio de 1891 y 26 de Abril de 1892.

nes actuales, la trayectoria vá pronunciando cada vez más su curvatura, los ángulos de caída aumentan y el tiro se convierte forzosamente en curvo, pasando los proyectiles por encima de las masas cubridoras, para herir á los objetos que se encuentran detrás. Esto mismo se consigue á las distancias regulares, rebajando la carga de proyección, con lo cual, disminuyendo la velocidad inicial, se encorva la trayectoria y aumenta el ángulo de caída, llamándose el tiro indirecto cuando se verifica en estas condiciones.

Ya queda dicho que el alcance máximo de los cañones es muy grande, pero que no deben forjarse ilusiones acerca de la eficacia del fuego á gran distancia, por la inseguridad del tiro, que sólo permite aprovecharlo contra blancos de enorme extensión horizontal.

El tiro de shrapnel, contra tropas ó trabajadores al descubierto, es eficaz hasta 2500 metros y puede extenderse hasta los 4000, con espoletas de tiempos de larga duración y gran regularidad. Disminuyendo la carga y haciendo el tiro indirecto, aumentando por lo tanto el ángulo de caída, puede batirse con shrapnel el interior de las obras enemigas, llenándolo de balines muy mortíferos para el personal que las ocupe.

No se puede, sin embargo, desconocer que la boca de fuego esencialmente propia para el tiro indirecto es el *obús*. La velocidad inicial ya reducida que dá la carga máxima, permite disminuirla cuanto convenga para encorvar la trayectoria lo que sea necesario; basta comparar las tablas de las páginas 22, 31 y 32 (por referirse al mismo calibre) para convencerse de lo que aquí afirmamos. Además, la posibilidad del empleo de la granada-mina y de la granada-torpedo, por la menor conmoción que produce el disparo con menor carga en la pieza, dan al empleo de los obuses una importancia innegable.

Por otra parte, aunque la velocidad inicial máxima sea tan sólo de 300 metros ó poco más, no es despreciable el tiro directo de los obuses, y puede emplearse en concurrencia con el de los cañones contra parapetos y demás blancos verticales hasta los 2500 metros, con la ventaja de que á igualdad de peso y movilidad de la pieza, el proyectil y su carga interior y por lo tanto su efecto explosivo es mucho mayor, obteniéndose mayor eficacia en la dispersión de las tierras. No debe olvidarse á este propósito el resultado de las experiencias hechas en Ingla-

terra (21) é Italia (22) en que se demostró que la destrucción de los parapetos se obtiene más rápidamente y mejor que por la perforación completa, por la explosión de proyectiles de fuerte carga, y por lo tanto, que el obús á las distancias en que su tiro puede ser propiamente directo, producirá de ordinario mayor resultado que el cañón, á igualdad de peso de la pieza.

No debe confundirse el tiro indirecto ó curvo del obús con el pronunciadamente curvo ó vertical del *mortero*. Este tira casi siempre por grandes ángulos, rarísimas veces por ménos de 20°, nunca por depresión, mientras que el obús tira en las mismas condiciones que el cañón, con un aumento de 9° á 10° en el ángulo máximo de elevación, debido á que la pieza es más corta. Los obuses deben, por lo tanto, colocarse donde estén los cañones y alternar con ellos en el servicio, sin perjuicio de poderse ocultar más fácilmente para hacer fuego por puntería indirecta (23) cuando convenga; sería un error ponerlos donde no puedan tirar más que por grandes ángulos, porque se perderían muchas ocasiones de emplearlos útilmente; así las baterías acasamatadas de fuegos curvos ó *á la Carnot* deben reservarse exclusivamente á los morteros.

Estos tienen la ventaja de poderse colocar en cualquier parte, y especialmente si son ligeros, como los de 15 cm., no deben tener asignada

---

(21) En el polígono de Dungeness en 1881, en el de Lydd en 1883.

(22) Polígono de Cirié en 1884.

(23) No debe confundirse la *puntería indirecta* con el *tiro indirecto*. Este se refiere á la curvatura de la trayectoria y más especialmente á la inclinación con que su último arco llega al blanco, aprovechándose generalmente para que el proyectil salve un obstáculo pasando por encima de él y vaya á herir á las personas, material ó construcciónes que se encuentran detrás y que parecían cubiertos y protegidos por aquél, y en efecto, podían estarlo del tiro directo.

La puntería indirecta, en cambio, es el procedimiento que sirve para dar á la pieza la elevación y azimut necesarios para que el proyectil llegue al blanco (ya sea la trayectoria tendida ó curva, sin necesidad de ver éste, ó mejor dicho, sin hacer intervenir al blanco en las operaciones inmediatas de la puntería, al revés de lo que sucede con la *puntería directa*, en la cual se dá la elevación y dirección haciendo que la visual dirigida por el ocular del alza (debidamente graduada) y el punto de mira que lleva la pieza pase por el blanco.

Los procedimientos de puntería indirecta son variadísimos y en ellos puede emplearse, para dar la elevación, el alza con blancos ficticios ó auxiliares, ó mejor y más comunmente, el arco graduado de nivel. La dirección se obtiene por medio de alineaciones y referencias.

Los que quieran conocer los procedimientos reglamentarios en nuestra artillería para la puntería indirecta pueden consultar los capítulos correspondientes (páginas 28 y 108) de las *Instrucciones para el tiro de las baterías de sitio y plaza*, publicadas por la sección de Madrid de la Escuela central de tiro de Artillería.—Madrid (Fortanet), 1890, en 16.°, de 239 páginas y 3 láminas.

Si alguno desea entrar más á fondo en este estudio, puede recurrir á la obra *Appareils de pointage indirect et de repérage des bouches a feu de siège et de place*, par E. Frique, capitaine d'artillerie.—Paris (Berger-Levrault et Comp.), 1882, en 4.°, de 109 páginas con 3 láminas y figuras en el texto.

instalación fija, sino llevarlos de uno á otro sitio, según convenga, tanto dentro como fuera de las obras.

Es indudable que un papel muy importante que pueden desempeñar los morteros es el de batir con su fuego curvo, empleando la granada ó el shrapnel, las ondulaciones del terreno que quedan ocultas, cuando el suelo es quebrado, á la acción de los fuegos directos de la fortificación; pero no debe entenderse que sea éste su único empleo en la defensa de las plazas, sino que tienen el suyo propio y especial, aun en terreno perfectamente llano, que consiste en tirar contra las baterías del sitiador para desmontar las piezas y romper las explanadas; hundir la cubierta blindada de los repuestos, destruyendo las municiones; poner fuera de combate al personal de la batería con granada, ó mejor con shrapnel, y descomponiendo el suelo, parapeto, traveses, taludes, con los embudos de las explosiones, dificultar el servicio. El efecto del fuego de mortero aumenta cuando está situado en una altura y tira contra blancos más bajos, pero es también eficaz haciendo fuego de abajo á arriba, sólo que entonces conviene emplear ángulos de proyección mayores, porque el ángulo de arribada es menor que el de caída.

El empleo del mortero por ángulos menores de 20° es excepcional, y no permitiéndolo el afuste, hay que recurrir á inclinar la explanada hácia adelante. Desde 20° á 35° ó 40°, el tiro es apropiado para aprovechar el efecto explosivo de la granada, y la dispersión de los cascos para herir al personal y descomponer el material, y también son los ángulos más propios para el tiro con shrapnel si se quiere corregirlo con cierta facilidad. Por 45° á 60° de elevación, el tiro pasa á ser vertical, y hundiéndose la granada en el suelo, parapetos y cubiertas de blindaje, produce embudos profundos y destruye los entramados; será, pues, este tiro el más propio para demoler abrigos y repuestos, descomponer los adarves y romper las explanadas, pero no para producir el máximo efecto mortífero en el personal y destructor en las piezas y sus montajes.

En país de montañas hay ocasiones en que el empleo de los cañones es poco útil, y preferible el de los obuses para tirar contra una batería enemiga que esté más alta que el fuerte. Véase, en efecto, el resultado de un cálculo comparativo que hemos hecho para un caso real.

Posición relativa del fuerte y de la batería enemiga.	Piezas que se suponen en el fuerte.	Velocidad inicial. — $m \times 1''$	Ángulo de proyección.	Ángulo de arribada.	Velocidad remanente tangencial. — $m \times 1''$.	Energía total del proyectil.	Factor de penetración. — *Tm.*	Probabilidad en el tiro contra la batería enemiga. Tipo francés, núm. 3, para 4 piezas	OBSERVACIONES.
Distancia. . . . . 1200 m.	C. Bc. 12	515	8°	+ 4° 53′	403	149,4	4,85	75 p. 100	Los ángulos de arribada van marcados con el signo + cuando la trayectoria está en la rama ascendente; con el — cuando en la rama descendente.
Cota del fuerte. . . . 792 m.									
Cota de la batería. . 930 m.	O. Bc. 15	300	10° 30′	+ 2° 17′	267	127,3	4,12	80 p. 100	
Diferencia de nivel. . 138 m.									
Ángulo de situación. 6° 34′	O. Bc. 15	200	15° 27′	— 3° 18′	175	54,4	2,52	81 p. 100	
Su tangente. 0,115									

En cuyo resultado puede verse que el cañón de 12, y aún el obús de 15, cuando tira por carga próxima á la mayor, serían de poco efecto, pues el proyectil llegando en dirección ascendente encontraría al parapeto en la disposición más favorable para la resistencia de éste, y los tiros largos pasarían todos por encima de la batería sin hacer ningún daño. No sucede lo mismo con el obús empleando carga reducida, pues el ángulo de arribada ya es favorable para descrestar el parapeto y desmontar las piezas, y es posible el empleo del shrapnel, que en el primer caso hubiera sido de resultados completamente ilusorios. A una consecuencia completamente análoga se hubiera llegado comparando el cañón de 15 con el obús de 21 cm.

De paso haremos aquí observar que es conveniente en muchos casos someter al cálculo los problemas relativos al armamento de la fortificación y que, por nuestra parte, lo hemos hecho así en repetidas ocasiones, siempre con éxito (24).

Los calibres normales de plaza, los que deben constituír el núcleo del armamento, son, sin duda alguna, el de 12 cm. para los cañones, de 15 cm. para los obuses y morteros.

El cañón de 12 cm. reune excelentes condiciones. Bastante ligero, pues con su cureña de sitio no llega á pesar 2900 kg., arroja con velocidad considerable un proyectil de 18 kg., que lleva una carga interior suficiente para que el efecto explosivo sea apreciable en la destrucción de parapetos. Las condiciones balísticas (véase pág. 23) son excelentes, á las distancias de combate su tiro es preciso, rasante y eficaz, la potencia del proyectil es mayor que la necesaria, el alcance máximo llega á los 9 kilómetros, y hasta los 6000 metros se puede hacer fuego en bastante buenas condiciones de probabilidad del tiro. El efecto del shrapnel, con sus 260 balines, que en el momento de la explosión reciben una velocidad propia de cerca de 130 metros, ha de ser muy considerable contra tropas. En una palabra, el cañón de 12 cm. puede bastarse á sí mismo, en la generalidad de los casos, para todas las necesidades del tiro directo.

El obús de 15 cm., más ligero aún que el cañón de 12 cm., es tam-

(24) Este es el principal objeto que nos propusimos al publicar la *Balística abreviada* (en 1883), y ahora al refundir completamente la misma obra, de la que se está imprimiendo nueva edición

bién pieza de muy ventajoso empleo. Su proyectil, de peso próximamente doble y de efecto explosivo más de triple, puede ser disparado por tiro directo ó indirecto, según convenga. En el primer caso, aunque la fuerza viva y la penetración en objetos resistentes es menor que la del cañón de 12, se compensa ámpliamente esta inferioridad con la mayor dispersión de las tierras. En el segundo, se obtienen ángulos de caída muy ventajosos para producir efecto en el interior de las baterías enemigas. El shrapnel con sus 330 balines con 192 metros de velocidad propia, será muy mortífero, ya se emplee con tiro directo ó indirecto.

El mortero de 15 cm., de ligereza tan grande que permite considerarlo y emplearlo como pieza de campaña, dá efectos muy suficientes para la destrucción de los blindajes que ordinariamente se construyen en las baterías de sitio. En cuanto al efecto de sus proyectiles, que son los mismos del obús, nada hay que añadir á lo ya dicho y sólo necesitamos recordar que el alcance máximo pasa de los 3800 metros y que la precisión del tiro es notable tratándose de fuego curvo.

A las piezas citadas hay que añadir el cañón de 14 cm., de alcance, efecto y precisión inferiores á los que dá el de 12 cm., pero que no son despreciables, pudiéndose aceptar esta pieza y emplear en los artillados los ejemplares que existen, aunque claro es, tratándose de un modelo de transformación, no se fabrica y está limitado su uso al aprovechamiento de los que hay.

Cuando se trate de fuertes de montaña, conviene examinar si los puntos donde el sitiador habrá de colocar sus baterías tienen tierra suficiente para construírlas, pues si no fuese así y presentasen al exterior la roca, obligando á construír las baterías con sacos terreros y á economizar espesor de parapeto, podrían bastar para batirlas los cañones de 9, 10 y aún los de 8 cm., ya que no sólos, combinados con los de 12 ó 14. También se podrían emplear los cañones de 8 y 9 en disparar shrapnel contra los trabajos y las baterías, pero esto no sólo en los fuertes de montaña, sino también en los que estén en país descubierto.

Nuestra preferencia por el calíbre de 12, como normal para los cañones de plaza, y por el de 15 para los obuses y morteros, no excluye el empleo parcial de los inmediatamente superiores, que son, claro es, el de 15 para los cañones, el de 21 para los obuses y morteros.

Del calibre de 15 cm. tenemos cuatro modelos de cañones: dos de fabricación corriente, el de hierro entubado, modelo de 1885 (Ordoñez), y el de bronce comprimido, modelo de 1891 (Verdes), y otros dos que ya no se fabrican, el de hierro sunchado, modelo de 1878, y el Krupp del tren de sitio.

Respecto al cañón entubado, ya hemos expuesto las razones que hay para no considerarlo como pieza normal de plaza y reservarlo para su peculiar servicio de costa, en el que constituye una excelente boca de fuego de calibre medio. Ni aún alegando el alcance puede justificarse la preferencia por esta pieza, pues como el ángulo máximo de elevación que le permite su montaje es sólo de 23°, no lo tiene mayor que los cañones de 12 y 15 cm. de bronce comprimido. Su potencia es ciertamente superior, pero innecesaria, y en cambio la fijeza de su posición le expone, sin poder evitarlos, á los certeros disparos de las baterías enemigas, que no tardarían en desmontarla.

El cañón Verdes es ciertamente superior al de 12 cm. en potencia, y aunque inferior en movilidad, no tanto que no pueda retirarse la pieza de su explanada, abrigarla y volverla al combate cuando convenga. Aunque la potencia del cañón de 12 es suficiente, conviene tener algunos de 15 para llevar más lejos el efecto si el enemigo se establece á mayor distancia y también para obtener más rápidamente la destrucción de una batería que importe mucho anular (25).

El cañón sunchado no puede compararse á los otros del mismo calibre de 15 cm., pues les es muy inferior. Como potencia y precisión es casi igual al de 12 cm., pero como alcance no le llega ni con mucho; la movilidad es nula por su gran peso y por el montaje de marco bajo, que responde á ideas ya abandonadas felizmente, acerca de la artillería de plaza. Esta pieza, que no se fabrica desde 1886, existe en número limitado (26) de ejemplares, todos con destino y muchos de ellos en plazas

---

(25) Si se comparan los datos de tiro de ambas piezas (páginas 22 y 23), aparece la precisión del cañón de 12 bastante superior á la del de 15, pero debe observarse que la primera está tomada de la tabla de tiro oficial, calculada por la Escuela de tiro, con experiencias apropiadas, y la del cañón de 15 la hemos calculado nosotros tomando como datos algunos de los primeros ensayos que se hicieron con la pieza. (*Memorial de Artillería*, série 3.ª Tomo XVI, pág. 354.)

(26) 125, según parece desprenderse de los datos de la fabricación de Trubia desde 1879, publicados en el folleto: *La Fábrica de Trubia en 1892*, por D. Salvador Ordoñez.=Gijón (Torre y compañía), 1892, en 4.°, de 35 páginas con 13 estados y un plano.

marítimas y baterías de costa. Debe utilizarse donde existe, en harmonía con sus propiedades balísticas y con la naturaleza de su montaje, pero no conviene proponerlo para armamento de las plazas donde no lo haya.

El cañón Krupp de 15 cm., comprado en 1875, tenía con las condiciones de carga primitivas, casi idénticas propiedades que el de hierro sunchado, como que éste era una imitación de aquel; pero después, en vista del exceso de resistencia que presentaba la pieza, se la ha dotado con el proyectil de tres calibres y han mejorado tanto las condiciones balísticas (véase páginas 50 y 51), que resulta poco inferior al de bronce comprimido y podría emplearse en substitución de éste. No hay más que 20 piezas de esta clase, que hoy forman parte de la sección del tren de sitio aparcada en Carabanchel, pero el día en que estas bocas de fuego sean substituídas por otras de bronce comprimido, es natural que se las destine al armamento de alguna plaza, y por esta razón debe contarse con la eventualidad de su empleo.

Lo dicho respecto al cañón de 15, con relación al de 12, puede aplicarse al obús y mortero de 21, respecto á los de 15. Su utilidad es eventual y excepcional, pero en los fuertes importantes debe contarse con algunos para llevar el efecto más lejos, ó para aumentarlo en el combate decisivo de artillería, y respecto al mortero, más especialmente cuando se suponga que el sitiador construirá abrigos blindados de excepcional resistencia, para cuya destrucción no baste el tiro vertical de la granada de 15 cm.

La proporción entre las diversas clases de piezas no puede fijarse de antemano. Puede, desde luego, afirmarse en principio, que el número de cañones debe de ordinario ser inferior ó á lo sumo llegar á la mitad del total de piezas *de combate*, y que entre obuses y morteros deben predominar aquéllos, porque sus aptitudes múltiples les permiten ayudar eventualmente tanto á los cañones como á los morteros en sus cometidos especiales. Se ha aconsejado alguna vez la proporción de $^2/_5$ de cañones, otro tanto de obuses y $^1/_5$ de morteros; pero estas fracciones, que parecen excelentes en teoría, sólo deben servir de norma general, fijando en cada caso los números con arreglo á las condiciones especiales de cada obra con relación al terreno de los ataques y á las combinaciones de fuegos con las obras colaterales.

Dentro de cada clase de piezas habrá fuertes que no deban tener más que un calibre, que será, no hay que decirlo, el de 12 para los cañones, el de 15 para obuses y morteros. Cuando se considere necesario que haya piezas más potentes (cañones de 15, obuses y morteros de 21), éstos deberán ser en corto número, que raras veces pasará del $^1/_3$ y nunca de la $^1/_2$. Si intervienen los cañones de 8, 9 ó 10 en el combate de artillería, no conviene tampoco en principio que su número llegue al de los de 12, que siempre deben constituir el núcleo principal de los cañones del armamento.

Además de las piezas del artillado de cada fuerte (las cuales en tiempo de guerra pudiera suceder que se encontrase más ventajoso sacarlas de la obra y ponerlas en baterías provisionales construídas á su inmediación, para lo cual será utilísimo que los montajes sean de ruedas), las posiciones formadas por varias obras deben contar con un armamento de reserva destinado á reforzar el fuego del sector atacado, desde baterías intermedias, construídas como las de sitio. Estas piezas, cuyo número será proporcionado á la extensión de los intervalos y al desarrollo de fuegos que pueda presentar el sitiador, han de ser forzosamente ligeras; algunos cañones de 12 y obuses de 15, morteros de este mismo calibre, cañones y morteros de 9, podrán formar un núcleo de artillería móvil, pronta á reforzar los fuegos en donde haga falta (27).

Elección de piezas y calibres para la defensa próxima. Desde luego puede asegurarse que todas las piezas de combate que salgan de

---

(27) Sería muy útil un obús de 12 cm., ligero, análogo al Krupp (vease pág. 87), que disparase los mismos proyectiles que el cañón de igual calibre, y que con carga apropiada les diese una velocidad inicial máxima de unos 300 metros por segundo. Esta pieza podría servir en caso necesario para campaña; en los trenes de sitio formaría parte de las secciones ligeras, y en las plazas prestaría excelentes servicios, especialmente para formar parte de la artillería de reserva á que arriba nos referimos, pronta siempre á reforzar el fuego del sector amenazado.

La Escuela central de tiro ha proyectado esta pieza en las siguientes condiciones: metal, acero en un solo tubo; calibre, 120 mm.; longitud total de la pieza, 1533 mm.; idem del ánima, 1413; volúmen de la recámara. 2,25 dm.^{3}; rayado, la sección como el cañón de 12, el paso final, 28 calibres; diámetro exterior máximo, 280 mm.; diámetro de la tulipa, 176 mm.; peso total, poco más de 300 kg.; carga máxima, 1,8 kg. de pólvora de $^6/_{10}$ mm.; velocidad inicial correspondiente, 320 $m \times 1''$. (Véase *Tratado de Balística interior*, por D. Onofre Mata, teniente coronel, comandandante de Artillería-Madrid, 1890, página 159). Creemos que para el servicio de plaza se podría hacer la pieza de bronce comprimido con poco aumento de espesores y no excediendo el peso de 350 kg., que sería aún muy admisible, y más ligero que los cañones de campaña.

La fábrica Grusonwerk tiene un obús de *tiro rapido*, de 12 cm., de análogas condiciones, y que podría prestar el mismo servicio que aquí reclamamos. (Véase *Experiencias del Grusonwerk*. Madrid, *Memorial de Ingenieros*), 1891, páginas 19 y 38.

la lucha con la artillería enemiga sin averías graves, ya sean éstas causadas por su propio fuego ó por los proyectiles del contrario, tomarán parte en la defensa próxima, tirando contra los trabajos de zapa en el ataque industrial, contra las columnas de asalto en el ataque á viva fuerza. Desgraciadamente no se puede contar con que salgan ilesas más que algunas, muy raras, bocas de fuego, salvo los morteros, y es necesario contar con artillería especial para este cometido, reservada y resguardada hasta el momento oportuno y que por lo tanto no debe por ningún concepto tomar parte en el combate.

Para este cometido no hace falta mucha potencia. Las piezas de campaña la tienen sobrada para atravesar con sus granadas los parapetos de las paralelas y ramales y aún más para deshacer las débiles máscaras de las cabezas de zapa llena. El shrapnel de 8 ó 9 cm. es muy eficaz contra las tropas descubiertas que se preparan al asalto y contra las líneas de trabajadores que construyen una zapa volante. El bote de metralla, en la zona de 500 metros de ancho que rodea á la fortificación, debe detener y rechazar á las tropas asaltantes, si su empleo se combina con el fuego rápido de la fusilería. Por lo tanto, los cañones de 8, 9 y 10 cm., han de ser el núcleo principal de la artillería de defensa próxima, aunque el de 10 cm., pieza que no se fabrica y que existe en número limitado, tiene el inconveniente de no contar en su dotación con shrapnel y disponer sólo de una granada ordinaria, sin fragmentación sistemática, y un bote de metralla.

Los cañones de tiro rápido tienden hoy á substituirse á los de campaña para la defensa próxima. Aunque su uso está admitido, en principio, entre nosotros y se ha contado con ellos en varios tanteos de armamento, no hay sistema adoptado reglamentariamente, y por esta razón no los hemos incluído entre las piezas de plaza, en el capítulo I, y nos contentaremos con reseñar los modelos admisibles para este servicio en el capítulo VI.

Se puede afirmar que el calibre mejor para el objeto que aquí se desea, está comprendido entre 5 y 6 cm. y especialmente el de 57 mm., adoptado por varios constructores, admite una granada de 6 libras inglesas, ó sea 2,72 kg., cuya acción puede ser suficientemente eficaz si se organiza de un modo apropiado para que dé muchos cascos. La veloci-

dad inicial no necesita ser exagerada, pues no se trata de perforar planchas metálicas de algunos centímetros de espesor, como en la marina. Con piezas de esta clase se pueden tirar granadas de segmentos contra las tropas cuando estén léjos, ó contra parapetos más cerca, y también se pueden arrojar botes de metralla contra los asaltantes á ménos de 500 metros; la rapidez del fuego compensará la inferioridad de potencia, comparada con la de las piezas ordinarias de campaña. El shrapnel también puede emplearse, pero es renunciando al fuego rápido por la necesidad de graduar la espoleta de tiempos y la de corregir más cuidadosamente el tiro.

La ametralladora de calibre de fusil puede ser útil en algunas ocasiones, especialmente para compensar la escasez de guarnición de infantería en los fuertes aislados de montaña; pero no olvidando que los aparatos mecánicos no pueden substituír nunca al hombre como elemento defensivo. Por otra parte, si se compara la ametralladora con el cañón de tiro rápido, hay que reconocer que á corta distancia no es superior el efecto que puede producir aquélla al que éste puede dar disparando botes de metralla, y que en cambio á largas distancias es preferible el fuego de granadas, que es mucho más eficaz y que permite corregir el tiro por la observación de los puntos donde estallan, deduciéndose, por lo tanto, que en la defensa de las plazas debe preferirse, en circunstancias ordinarias, el cañón de tiro rápido á la ametralladora.

El mortero de 9 cm., que rara vez podrá intervenir en el combate de artillería, tendrá en cambio utilísimo empleo en la defensa próxima. Su tiro contra los aproches será muy molesto y pertubador del trabajo, y dirigido á los puntos de estacionamiento de la guardia de trinchera, depósitos donde se reunen los trabajadores, sitios de concentración de las columnas, podrá causar numerosas bajas, aunque el enemigo esté oculto. Aunque el célebre Carnot incurriese en exageración al desarrollar su teoría de los fuegos curvos en la defensa de las plazas, debe reconocerse que tenía en gran parte razón y que el empleo juicioso de estos fuegos, y más hoy que con el mortero rayado y el shrapnel se obtiene mayor efecto, debe producir muy buenos resultados. Excusado es decir, que el mortero de 9 cm., con su ligereza llevada al último extremo, no debe tirar siempre desde un mismo sitio, sino variar con frecuencia de colo-

cación y que los morteros de 15 que hayan podido conservarse, cooperarán al mismo objeto.

Otra clase de piezas puede encontrar también empleo muy útil en la defensa próxima, el cañón de montaña. Muy ligero, manejable á brazo y servido por dos artilleros, presentando poco bulto, puede hallar colocación adecuada y casi invisible en las ruinas de un fuerte, cuyos parapetos hayan sido poco menos que arrasados, y variando contínuamente de posición puede disparar granada de segmentos, shrapnel ó bote de metralla contra los aproches, trabajadores, guardia ó columnas que distinga. Pero es más, aún en el caso en que no pudiera establecerse en las ruinas de los parapetos para hacer el tiro directo, siempre podrá encontrar posiciones ocultas para el fuego indirecto y utilizando sus condicioiones balísticas, que le asimilan á un obús, y reduciendo la carga si es preciso, tirando por los ángulos mayores que le permite la cureña y enterrando la contera para aumentarlos si conviniere, suplirá ó ayudará á los morteros de 9 en su ventajoso servicio.

Una parte importantísima de la defensa próxima es el flanqueo de los fosos. Aunque algunos autores modernos hayan propuesto suprimir el obstáculo, este elemento tradicional de la fortificación no parece llamado á desaparecer y su existencia trae consigo su defensa, que no es eficaz sino por el flanqueo. No debe incurrirse, sin embargo, en exageración y recordando que la importancia del ataque próximo ha disminuido lo que ha aumentado la del lejano, debe reconocerse que el flanqueo de un frente con 60 ó 70 piezas como lo proponía Montalembert, y aún con 15 ó 20 como se aconsejaba hace treinta años, es innecesario y hasta perjudicial.

En muchas obras de secundaria importancia, bastará confiar el flanqueo á la fusilería; 8 ó 10 fusiles de repetición por flanco, pueden ser suficientes para impedir la escalada de la escarpa, si ésta está revestida é intacta. Si la obra es más importante, convendrá que los frentes atacables se flanqueen por uno ó dos cañones de tiro rápido cada uno, colocados en afuste apropiado para este servicio; su fuego de metralla debe detener á la columna de asalto más impetuosa y las granadas servirán, en el caso eventual de un paso de foso á la zapa, para impedir el avance del trabajo. Lo dicho anteriormente acerca de las ametralladoras, es

aplicable á este caso, y por lo tanto, debe preferírseles los cañones de tiro rápido, aunque á falta de éstos no dejarían aquellas de ser útiles. Los cañones de campaña rayados y hasta los obuses y cañones lisos disparando bote de metralla, pueden también ponerse á falta de cosa mejor en los flancos para la defensa del foso.

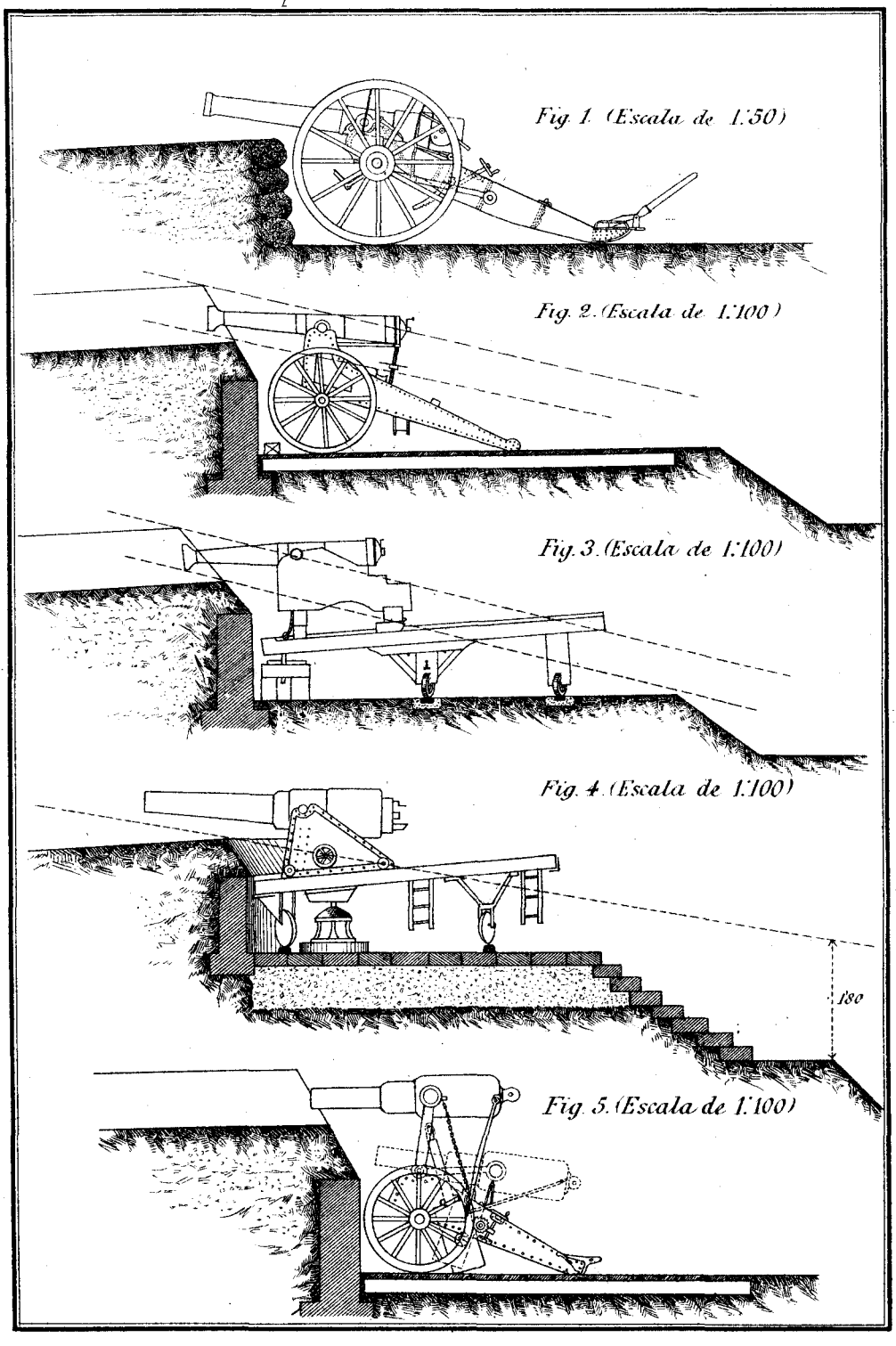
MONTAJES MÁS PROPIOS PARA LA INSTALACIÓN DE LOS CAÑONES DE PLAZA.—*Batería al descubierto.*—El montaje más sencillo es la simple *cureña de campaña* (fig. 1), de fácil manejo y mucha movilidad, pero exige una altura de rodillera pequeña, 80 ó 90 cm., que deja muy descubiertos á los sirvientes en una barbeta y obliga en otro caso á que la cañonera sea profunda, lo que pone á la pieza en grave peligro de ser desmontada. Además, en la cureña de campaña sólo pueden ponerse piezas de pequeño calibre.

La *cureña de plaza de Gribeauval* era también de ruedas grandes como la de campaña y lo mismo las antiguas *cureñas de sitio.* La altura de rodillera, de $1^m,20$ á $1^m,30$, obliga también á abrir cañoneras profundas, que si no presentaban muy sérios inconvenientes mientras el proyectil usual del sitiador era la bala sólida, se cegaban con facilidad cuando se generalizó el uso de las granadas con los obuses largos (sitio de Sebastopol), y más aún cuando la artillería rayada universalizó el proyectil explosivo.

Como montaje ménos voluminoso y muy manejable, se adoptó desde principios de este siglo, y ya se había propuesto mucho ántes, la *cureña de marina* con sus gualderas de madera cortadas en escalones y sus cuatro ruedas pastecas, que generalmente iba sobre explanada de piedra. Sin embargo, con la altura de rodillera de ménos de un metro, subsistían todos los inconvenientes expresados. Esta cureña, al generalizarse para el servicio de las fortalezas, tomó el nombre de *cureña de plaza*, quitándoselo á la primitiva de Gribeauval.

La cureña de plaza se colocó después encima de un *marco* que gira al rededor de un perno fijo. Si el marco es *bajo*, poco se gana en altura de rodillera, se obtiene el montaje de *plaza y casamata*, que empleado en las baterías al descubierto obliga todavía al uso de la cañonera profunda. A esta clase pertenece el montaje de plaza del cañón B. Cc. de 14 y, construídos de chapa de hierro, los de los cañones H. R. S. y H. E. de 15 en marco bajo.

Nuestra artilleria de plaza.



Substituyendo los marcos bajos por otros *altos*, se obtiene el montaje *de costa* (figuras 3 y 4), que ya permite tirar á barbeta por encima del parapeto (fig. 4), ó por lo ménos, por cañonera poco profunda (figura 3). A esta clase pertenecen los montajes altos de los cañones de 15 centímetros H. R. S. y H. E.

Largo tiempo se han considerado los montajes de marco como los únicos apropiados para el servicio en las plazas, pero en la actualidad, reconociendo que para las gruesas piezas de costa constituyen una buena solución del problema, se han abandonado para las de plaza cuyo peso no llegue, ó exceda poco, de tres toneladas y se les prefiere la *cureña alta de sitio* (fig. 2), que con sus ruedas es movible y puede transportarse á donde convenga, aun mientras el enemigo hace fuego. De esta manera se evita el grave inconveniente de la fijeza de la boca de fuego, que la expone á ser prontamente desmontada por los certeros tiros del sitiador; mientras que si puede moverse con facilidad, es posible retirarla, tenerla escondida y abrigada el tiempo que se quiera en la bóveda á prueba de algún través y cuando se considere oportuno volver con ella al fuego en la misma ó en otra plataforma. Es más, si se comparan las figuras 2, 3 y 4, en las que están indicadas las ramas finales de las trayectorias del tiro enemigo, por ángulo de caída, cuya tangente sea $^1/_4$, puede apreciarse fácilmente, que si no la pieza, que está siempre expuesta, el montaje y los sirvientes están mucho más resguardados con la cureña de sitio alta, que con la de plaza sobre marco, aunque éste sea alto.

Por esta razón se generaliza el empleo de la cureña alta de ruedas, llamada mejor hoy *cureña de sitio y plaza*, cuya primera adopción por la artillería prusiana, hácia 1864, aunque entonces la cureña era la antigua de madera, con suplementos de hierro para elevar la posición del eje de muñones, dió una gran superioridad á la artillería del ataque sobre la de la defensa en los sitios de 1870.

La *cureña de eclipse* es preconizada por muchos como el tipo ideal del montaje de plaza. La ventaja de tener oculta la pieza y sólo asomarla por encima del parapeto para hacer fuego, es innegable; pero si esto ha de obtenerse fijando todo el montaje á una plataforma que gira al rededor de un perno, y aumentando el peso del conjunto, es decir, sa-

crificando la movilidad, como ocurre en la mayoría de los modelos propuestos, el inconveniente que de esto resulta es de más gravedad que las ventajas que pueden obtenerse. La *cureña eclipse de sitio*, propuesta por Moncrieff (28), y adoptada en Inglaterra para el cañón de 6 pulgadas y obús de 8 (fig. 5), no presenta el mismo defecto, antes bien, concilia las ventajas de la movilidad con las del eclipse. Al mismo tipo pertenecía, é inspirada en iguales ideas estaba, la cureña proyectada por el comandante Mata para el obús de 15 y cañón de 12 (29), pero hasta ahora no ha sido adoptada, é ignoramos si ensayada, pues como ya se ha visto (pág. 17), la reglamentaria modelo de 1891 es del tipo ordinario de sitio y plaza sin eclipse.

Con este tipo hay, pues, que contar para la instalación de los cañones y obuses de plaza, salvo para aquellas piezas que no son de fabricación corriente y no lo tienen. En las baterías de sitio se establecen sobre explanadas de madera, y lo mismo puede hacerse, claro es, en las de plaza; pero como esto obliga á no colocar las explanadas hasta que se emprendan los trabajos de armamento, y como además las de madera se rompen con facilidad si las alcanza una granada disparada por obús ó mortero, parece preferible adoptar las de hormigón de cemento. Tambien convendría un freno hidráulico para limitar á un par de metros escasos, el considerable retroceso que sin él tiene la pieza, y que obligaría á ensanchar excesiva é innecesariamente el adarve. Un perno empotrado en el macizo de hormigón de la explanada permite sujetar á él por un extremo el cilindro del freno, que por el otro lado se une á la parte inferior de la cureña, entre las dos ruedas, y deshaciendo el enlace, se puede transportar la pieza á otra plataforma ó retirarla, según convenga. Estas ideas han sido aceptadas por la superioridad, y se ha recomendado un tipo de explanada de hormigón y parapeto (30) inspirado en ellas.

---

(28) No debe confundirse este modelo con los del mismo autor, *de contrapeso*, fijos, sobre marco giratorio, de perno central, destinados á las piezas de costa de 7 y 8 pulgadas. El que representa la figura 5 puede tirar por 4° de depresión con una altura de rodillera de 2,30 metros, y el peso de la cureña es de 2500 kg.

(29) Véase la figura 45 de la lámina 10 del atlas de la obra *Lecciones sobre el servicio de la artillería en los sitios de plazas*, por D. Leoncio Mas.—Madrid, 1888.

(30) Por Real orden de 30 de Julio de 1891, se dispone que la organización del parapeto y explanada de hormigón para las piezas de plaza montadas en cureña alta de ruedas, se inspire en la que está representada en el atlas de la obra del general Brialmont *La fortification du temps présent* (lámina 2, fig. 4).

No puede desconocerse que la batería al descubierto protegida contra el fuego directo por el parapeto, no tiene las piezas ni los sirvientes resguardados de los tiros de sumersión y curvos, y que el shrapnel es un terrible enemigo para ella. Por esta razón, no queda otro recurso que tener más plataformas que piezas y acudir á la movilidad de éstas para librarlas en lo posible del fuego enemigo, mientras no se extienda y generalice el principio de tirar *siempre* por puntería indirecta, retirando las piezas de los adarves de los fuertes y colocándolas *ocultas* dentro, ó mejor fuera de éstos. Por nuestra parte, estamos firmemente convencidos de que esta es la verdadera solución para la artillería de combate (31).

Casamatas.—Desde que Montalembert aconsejaba colocar toda la artillería en casamatas, creyendo que éstas, aun presentando al descubierto los muros de frente, eran invulnerables cuando no se las batía *de plein fouet* á 20 ó 30 toesas de distancia, las ideas han variado mucho. La necesidad de proteger á las casamatas del fuego se reconoció ya en los tipos: de Bousmard, con cañonera abovedada envuelta en tierras; de Chasseloup, con cañoneras túneles abiertas en un macizo de tierras protector, separado del muro de frente de las casamatas por medio de un patio; de Haxo, con parapeto anterior y en él cañoneras, descubiertas por la parte superior. De los tres tipos, el de Haxo ha sido el considerado hasta hace pocos años como la mejor disposición de una casamata de combate, propia para ser colocada en el adarve de la fortificación y sostener el fuego de la artillería enemiga, y el de Chasseloup constituye todavía una casamata de flanqueo excelente, para los casos en que la caponera pueda ser batida por fuegos de sumersión.

Pero en realidad, desde que se generalizó el uso de los proyectiles huecos, dejó la casamata Haxo de ser propia para el combate lejano, porque los merlones son fácilmente deshechos y las cañoneras cegadas, aparte de que la cabeza de la bóveda constituye una parte débil, como ya se reconoció desde un principio, siendo necesario reforzarla con un blindaje de madera y cuando no bastó éste con una coraza de hierro ú

(31) Véanse los siguientes artículos del *Memorial de Ingenieros del Ejército:* 1886, pág. 4 y 108; 1891, página 133. Véanse también las *Nociones de fortificación permanente.* Barcelona, 1887-1888, un tomo y atlas (capítulos XVI, XXIX y apéndice *A*), y *Experiencias del Grusonwerk*, pág. 60.

otras disposiciones muy diversas que se han propuesto, no todas afortunadas. El refuerzo con hormigón duro de cemento, de la cabeza de la bóveda, y la constitución de los merlones con el mismo material, no son mas que paliativos, pues el hormigón, muy propio para formar las cubiertas de las bóvedas sólo expuestas al tiro vertical y también para recibir con mucha oblicuidad el choque de los proyectiles, no es tan ventajoso cuando éstos, animados de gran velocidad, hieren normalmente á los paramentos, pues entonces, aunque sea más pequeña que contra un macizo de mampostería ordinaria, hay penetración y formación de embudo y es asunto de tiempo y proyectiles la destrucción completa ó por lo menos la inutilización de la casamata para el servicio de la artillería. Natural es, pues, que se haya pensado en el hierro ó en el acero para acorazar la casamata de combate en la parte que sobresale del parapeto.

Con esto no queremos decir que deba adoptarse ciegamente la casamata acorazada para la colocación de la artillería de combate; al contrario, creemos que sólo en casos muy determinados debe aceptarse, cuando la situación del fuerte rodeado de alturas con dominación eficaz impongan la casamata y no se pueda abrir ésta en la roca dura; pues toda otra organización de las baterías de fuegos cubiertos, no responderá á las necesidades actuales de la defensa.

Para las piezas en casamata puede adoptarse la cureña de marina, ó mejor la misma en marco bajo con perno frontal, ya sea éste real ó imaginario, pero también puede servir la cureña de ruedas, bien sea de campaña ó de sitio y plaza, sólo con arreglar las dimensiones de la casamata á las de la cureña. Sin embargo, el verdadero montaje de casamata es la cureña de cañonera mínima, en que el cañón gira al rededor del brocal, subiendo y bajando según convenga el eje de muñones; pero la cañonera mínima trae consigo el escudo metálico de frente y por lo tanto la casamata acorazada.

Cúpulas.—Ya en otras ocasiones (32) hemos expuesto nuestra opinión sobre las cúpulas en la fortificación de las plazas terrestres, y no es aquí la ocasión de insistir sobre tal asunto. En ciertos casos, y especialmente en fuertes aislados, constituirán buena solución, tal vez la

(32) *La Fortificación actual* (*Memorial* de 1886), *Nociones de Fortificación permanente* (1887-1888), *Experiencias del Grusonwerk* (1891).

única buena; en otros no serán indispensables; siempre se deberá discutir detenidamente la necesidad y no proponerlas si no está plenamente demostrada, pues su coste es grande y para una nación pobre debe estar muy justificada la conveniencia de gastar una suma que eleva mucho el precio de cada pieza instalada.

En cuanto á los tipos, hoy hay donde elegir, pero en los tanteos de armamento no parece natural que se descienda á los detalles de construcción, y los puntos que deberán examinarse serán el calibre de las piezas y el número de ellas para cada cúpula. En cuanto á lo primero, contra lo que puede parecer á primera vista, no siempre será conveniente que sean de grueso calibre, cañón de 15 ú obús de 21, sino que en la mayoría de los casos convendrán las de calibre medio, cañón de 12 ú obús de 15; sobre todo, porque hay así mayor facilidad en el servicio y por lo tanto mayor rapidez en el fuego, elemento muy importante de eficacia, que debe tomarse en cuenta. Respecto á lo segundo, nos parece indudable que cada cúpula debe llevar dos piezas apareadas y paralelas, por economía relativa y porque el fuego de piezas aisladas nunca se ha considerado como de bastante efecto para obtener resultados sensibles con la rapidez que puede ser necesaria.

Lo dicho se refiere á las cúpulas para piezas de combate. Las pequeñas, ó torres-eclipses para cañones de tiro rápido, pueden tener mucho más frecuente aplicación y constituyen un medio efectivo de poner á un fuerte á cubierto de ataques á viva fuerza.

CAPÍTULO QUINTO.

ARTILLERÍA DE PLAZA DE AVANCARGA.

A pesar de que las bocas de fuego que se cargan por la boca están todas llamadas á desaparecer de las dotaciones y ser substituídas por las que se han descrito en los capítulos I y II, como se han de pasar aún muchos años antes de que se haya podido fabricar el total de piezas que serán necesarias, es forzoso conservar provisionalmente en servicio aquellas que pueden prestar todavía alguna utilidad en la defensa de las plazas, y especialmente están en este caso las rayadas y los morteros lisos. Un estudio de las piezas de que se trata es, pues, de utilidad, y después de coleccionar los datos que acerca de ellas hemos podido reunir, trataremos de indicar el papel que en los tanteos de armamento puede caberles.

PIEZAS LISAS. Una verdadera prodigalidad de calibres constituía la artillería del emperador Carlos V, formada por *culebrinas* y *cañones de batería*. Las primeras, desde 28 á 40 calibres de largo, se dividían en tres series: las de *orden legítimo*, de 40, 20, 10, 5, 2 $^1/_2$, 1 $^1/_4$; las bastardas, de 48, 24, 12, 6, 3, 1$^1/_2$; las extraordinarias, de 32, 16, 8, 4, 2, 1, $^1/_2$; todos expresados en libras de peso de la bala de hierro fundido, y tomaban los nombres pintorescos de Dragón ó doble culebrina, Culebrina legítima, Media culebrina ordinaria, Sacre ó cuarto de culebrina, Falconete ú octavo de culebrina, Ribadoquín; Basilisco ó doble culebrina bastarda, Serpentín ó culebrina bastarda, Aspide, Pelícano, Falconete y Ribadoquín, bastardos; Dragón volante ó doble culebrina extraordinaria, Pasamuro, Pasavolante, Cervatana, Girante, Pasador y Gerifalte. Los cañones de batería eran, á su vez, el Despertador, Quebrantamuros ó cañón

doble, de 96 libras, 17 calibres de largo y 128 quintales de peso (5900 kilógramos); el Siflante ó Batemuro, de 48, 18 y 72 (3300 kg.); el Brecante, de 24, 19 y 43 (2000 kg.); el Perseguidor ó mediana, de 12, 24 y 27 (1240 kg.), y el Octavo de cañón, de 6, 27 y 21 (970 kg.). Había, además, otras bocas de fuego que todavía arrojaban *pelota de piedra* y se conocían con los nombres de pedreros, lombardas, trabucos, petares, morteros y parafusos.

A tal desorden debió poner término la ordenanza de Felipe III (1609), inspirada por el eminente artillero Cristóbal de Lechuga, reduciendo á cuatro los cañones y suprimiendo las culebrinas, como ya había propuesto Luis Collado después de la experiencia decisiva del castillo de Milán. Eran estas piezas, el *cañón de batería*, de 40 libras de bala, 18 calibres de longitud y 63 quintales (2900 kg.) de peso; el *medio cañón* de 24, con 19 calibres y peso de 41 quintales (1900 kg.); el *cuarto de cañón*, que calzaba proyectil de 10 libras y pesaba 23 quintales (1060 kg.), teniendo 24 calibres de longitud; y la *pieza de campaña*, que era de 5, con 32 calibres y 24 quintales (1100 kg.). Formaba parte de esta ordenanza un mortero, que por entonces aún no arrojaba bombas, sino mezclas incendiarias y piedras.

Durante el siglo XVII se generalizó el uso de la bomba, se perturbó algo la sencillez de calibres, admitiendo algunos irregulares, y con el mismo carácter se adoptaron alguna vez los obuses. En 1743 se copió de la artillería francesa el sistema de Vallière, formado por los cinco calibres de ordenanza, de 24, 16, 12, 8 y 4, cañones todos largos, de 20 á 25 calibres de longitud, con dos morteros de 12 y 8 pulgadas y un pedrero de 15. Este sistema hacía desaparecer toda distinción entre piezas *de campaña* y *de batería*. Como se vé, no se aceptaban los obuses.

Las polémicas entre los partidarios de Vallière y de Gribeauval, tuvieron su eco en España y condujeron á la adopción en 1783 de la *nueva ordenanza* (33), en que se suprimían los cañones de Vallière de 8 y 4, y se adoptaban como piezas de campaña cañones de 12, 8 y 4 cortos, y un obús de 6 pulgadas, quedando para sitio y plaza los cañones de 24, 16 y 12 largo, un obús de 8 pulgadas y los morteros de 12, 10 y 8 pulga-

(33) **Morla**; *Tratado de Artillería que se enseña en el Real Colegio militar de Segovia.*

das (34), que fueron substituídos en 1785 por otros de recámara troncocónica, llamados *cónicos* por contraposición á los antiguos ó *cilíndricos* (de ánima cilíndrica), y conocidos también por *morteros á la Gomer*. La nueva ordenanza ó sistema de Gribeauval constituía aún el sistema de artillería en sus líneas generales, cuando se adoptó la artillería rayada.

Posteriormente, hácia 1830, se adoptaron los obuses largos de 9, 7 y 6 $^1/_2$ pulgadas, así como los de 5 largo y corto, y de 4 $^1/_2$ corto. Con todas estas piezas se formó el sistema, cuyos datos principales van á continuación.

---

(34) Primitivamente los obuses y morteros se designaban en pulgadas francesas; más tarde se adoptó la medida española y los calibres de 12, 10, 8 y 6 se convirtieron en 14, 12, 9 y 7.

Cañones.

Denominación antigua (en libras de bala).	24.	16.	12 largo.	12 corto.	8 largo.	8 corto.	4 largo.	4 corto.	4 de montaña
Nomenclatura moderna.	C. B. L. 15 cm.	C. B. L. 13 cm.	C. B. L. 12 cm. lg.	C. B. L. 12 cm. cr.	C. B. L. 10 cm. lg.	C. B. L. 10 cm. cr.	C. B. L. 8 cm. lg.	C. B. L. 8 cm. cr.	C. B. L. 8 cm. mont.
Calibre exacto. . . . . mm.	152,7	133,7	121,2	121,2	106,0	106,0	85,1	85,1	85,1
Longitud total. . . . . mm.	3524,9	3166,2	3152,3	2280,7	2808,5	1989,7	2451,0	1593,3	860,2
Longitud del ánima. . . mm.	3095,0	2790,4	2801,7	2000,9	2480,3	1746,0	2172,7	1385,1	703,7
Distancia del eje de muñones á la boca. . . . mm.	1854,7	1625,1	1676,3	1233,8	1461,5	1068,3	1296,6	848,2	»
Diámetro máximo exterior. . . . . mm.	517,1	448,3	429,5	346,5	361,5	303,8	289,9	239,0	166,0
Diámetro de la tulipa. . mm.	381,2	323,1	305,1	267,5	279,0	232,1	227,2	184,9	152,6
Depresión del eje de muñones con relación al del ánima. . . . . mm.	76,7	66,5	60,7	10,0	53,0	8,4	»	»	»
Peso. . . . . kg.	2890	1978	1656	966	1196	644	644	322	73,6

Obuses.

		O. B. 21 cm. lg.	O. B. 21 cm. cr. moderno.	O. B. 21 cm. cr. antiguo.	O. B. 16 cm. lg.	O. B. 16 cm. cr.	O. B. 15 cm. lg.	O. B. 12 cm. lg.	O. B. 12 cm. cr.	O. B. 10 cm. cr.	O. H. 21 cm. lg.	O. H. 16 cm. lg.
NOMENCLATURA ANTIGUA.		9 largo.	9 corto.	9 corto. antiguo.	7 largo.	7 corto.	6 ½ largo ó de 24 lib.	5 largo.	5 corto.	4 ½ corto.	9 largo.	7 largo.
Diámetro del ánima. .	mm.	216,6	216,6	216,6	166,9	166,9	152,7	121,2	121,2	106,0	216,6	166,9
Longitud del ánima cilíndrica.	mm.	1983,1	754,0	707,1	1614,2	500,8	1615,0	1385,0	669,5	663,1	2389,6	1667,9
Longitud de la recámara.	mm.	228,3	220,6	320,3	161,5	189,5	Sin recámara.	Sin recámara.	70,0	74,1	»	»
Diámetro de la recámara.	mm.	152,7	121,2	135,3	121,2	81,2	»	»	82,9	74,1	170,3	116,1
Distancia del eje de muñones á la boca. .	mm.	1437,0	805,6	570,3	1072,5	351,7	946,0	848,2	429,8	407,8	1710,5	1184,2
Diámetro exterior máximo.	mm.	536,0	428,8	483,7	369,2	298,0	310,0	275,7	174,8	154,0	638,5	499,2
Diámetro del brocal. .	mm.	483,7	413,4	468,3	299,6	298,0	252,0	222,5	174,8	154,0	507,0	371,5
Depresión del eje de muñones con relación al del ánima.	mm.	6,8	34,8	13,5	15,6	9,0	16,0	6,9	»	»	54,2	42,6
Longitud total de la pieza.	mm.	2775,3	1621,5	1330,5	2167,6	961,8	1871,0	1630,4	950,4	900,1	3231,4	2292,9
Peso.	kg.	2922,2	1294,9	1276,5	966,0	338,1	621,0	409,4	93,0	69,0	4370,0	1630,0

Morteros.

		MORTEROS CÓNICOS (GOMER).				MORTEROS CILÍNDRICOS (**).					PEDRERO
		32 cm.	27 cm.	16 cm.	15 cm.	32 cm.	32 cm. de plancha.	27 cm.	24 cm.	16 cm.	43 cm. (**)
NOMENCLATURA ANTIGUA		14.	12.	7.	6½.	14.	14.	12.	10.	7.	19.
Calibre exacto	mm.	324,9	274,1	166,9	152,8	324,9	324,9	274,1	243,5	166,9	433,0
Longitud del ánima cilíndrica	mm.	338,5	286,5	170,3	174,9	337,0	364,0	»	241,0	252,0	380,0
Longitud de toda el ánima	mm.	697,0	570,0	332,8	332,8	721,0	863,0	»	547,0	»	862,0
Diámetro de la recámara (*)	mm.	134,2	122,5	63,1	63,1	121,7	208,0	»	106,7	»	125,0
Volúmen total del ánima	dm.³	61,5	35,1	7,22	6,35	40,0	51,3	»	16,7	»	81,4
Longitud total del mortero	mm.	896,0	757,0	399,0	387,5	905,9	1109,0	681,0	681,0	503,0	1030,0
Distancia del eje de muñones á la boca	mm.	497,0	411,0	310,5	309,0	721,0	Sin muñones.	»	530,0	»	939,0
Diámetro máximo exterior	mm.	568,0	480,5	246,0	221,5	542,0	710,0	»	443,0	»	664,0
Peso	kg.	1250	850	96	70	1012	3911	943	552	»	1288

(*) Diámetro de la base menor de la recámara troncocónica; la otra base es igual á la sección del ánima cilíndrica. En los morteros cilíndricos se dá el diámetro del cilindro de la recámara.

(**) Las dimensiones de los morteros cilíndricos y del pedrero están tomadas de las láminas de la obra de Morla, cuya escala está en piés y pulgadas de Paris, haciendo la reducción á medidas métricas. No se puede contar, por lo tanto, con aproximación mayor que en centímetros, salvo algunos números que están reducidos de las tablas del *Prontuario* de Salas.

Los proyectiles eran bala sólida y bote de metralla para los cañones, granada y bote para los obuses, y bomba para los morteros (el de 16 cm. dispara granada). Los datos de todos ellos van á continuación:

Proyectiles esféricos.

		BALAS.					BOMBAS.			GRANADAS.					
Denominación antigua		24	16	12	8	4	14	12	10	9	7	6 ½	5	4 ½	De mano.
Denominación moderna		15	13	12	10	8	32	27	24	21	16	15	12	10	
Diámetro exterior medio	mm.	149,8	130,7	118,3	103,1	81,3	321,9	271,2	240,7	213,6	164,0	149,8	118,3	103,1	94,8
Espesor de metales. En las paredes	mm.	»	»	»	»	»	40,6	36,8	31,6	29,0	27,1	23,2	18,1	15,5	9,0
Espesor de metales. En el culote	mm.	»	»	»	»	»	63,2	58,7	48,9	»	»	»	»	»	»
Capacidad interior	dm.³	»	»	»	»	»	7,12	3,89	2,14	1,96	0,73	0,58	0,29	0,196	0,182
Peso del proyectil vacío	kg.	»	»	»	»	»	73,6	48,8	31,3	24,4	11,0	7,76	4,12	2,47	0,92
Carga máxima interior	kg.	»	»	»	»	»	5,503	2,76	2,04	1,84	0,575	0,517	0,23	0,172	0,151
Peso medio del proyectil cargado con la carga usual de guerra y espoleta	kg.	11,84	7,82	5,86	3,79	1,95	78,01	51,37	33,62	25,50	11,64	8,18	4,39	2,67	1,115
Tiempo máximo de duración de la espoleta	segundos.	»	»	»	»	»	64″	64″	40″	35″	35″	20″	20″	10″	»

		BOTES DE METRALLA.										Balas ó granos de metralla.	Diámetro. — Milímetros.	Peso. — Kilógramos.
Piezas para que sirve		O. 21.	O. 16.	O. 15.	O. 12.	O. 10.	C. 15.	C. 13.	C. 12.	C. 10.	C. 8.			
Diámetro	mm.	210	162	145	115	102	145	128	115	102	79	Núm. 1	67,1	1,121
Longitud total	mm.	435	370	235	200	224	328	293	262	260	223	2	52,8	0,549
Número de balas		28	28	28	28	28	42	42	42	42	24	3	46,4	0,373
Tamaño de las balas	núm.	1	2	3	5	6	3	4	5	6	6	4	40,5	0,242
Peso total	kg.	35,2	17,6	12	6,7	3,8	18	11,6	9,7	5,6	3,7	5	37,4	0,213
												6	30,9	0,115

Debe admitirse que la distinción entre *bomba y granada* no es esencial, y depende principalmente del tamaño. Aquélla lleva, sin embargo, resalto de boquilla y culote, que ésta no tiene. Las espoletas, tanto de bombas como de granadas, son de madera, con una cavidad cilíndrica interior, que lleva el tuétano.

PIEZAS RAYADAS.—Los ensayos sobre artillería rayada arrancan en España de la orden del Director general de artillería, de 29 de Noviembre de 1858, para que las fábricas de Trubia y Sevilla estudiasen la cuestión, aunque se tropezaba con el no pequeño inconveniente de no conocer, sino de un modo muy imperfecto, las experiencias ya por entonces verificadas en Francia, Bélgica, Inglaterra y Prusia, que hubieran podido servir de norma y guía.

En *Trubia*, cuya fábrica estaba entonces dirigida por el inolvidable general Elorza, se propuso utilizar un obús de hierro de 21 cm. (bombero de 80), ya fundido en sólido y barrenarlo al calibre que entonces se llamaba de 32 (16 cm.), rayándolo. Se le había de dotar de tres rayas de 6,5 m. de paso, 8 mm. de profundidad y 60 mm. de anchura; el proyectil cilindro-ojival tenía en la parte cilíndrica un calibre de longitud y el ángulo en el vértice de la ojiva era de 90°; las aletas eran fundidas con el mismo proyectil, es decir, de hierro colado; el viento 2 mm. El proyecto va firmado por el jefe y oficiales Azpiroz, La Sala (D. Eugenio) y Pérez (D. Artemio) y está fechado en 24 de Marzo de 1859. Recibida la orden de 9 de Abril, mandando proceder á las experiencias, éstas se verificaron en Gijón á primeros de Mayo, por una comisión presidida por el general Elorza y de la que formaban parte, además de los autores del proyecto, Bielsa y Echaluce (35), y desde luego sorprendieron los alcances obtenidos, pero la pieza reventó al disparo 22, lo que se atribuyó á carga (4 kg.) y peso del proyectil (29 kg.) excesivos y al metal de las aletas.

En 12 de Junio se emprendieron nuevas pruebas con un segundo obús de 21, barrenado al calibre de 32 y rayado con tres estrías; un cañón de 32 de la marina rayado del mismo modo y dos cañones de hierro de á 12, barrenados al calibre de 4 (8 cm.), con seis estrías imitando

(35) Posteriormente, para las pruebas sucesivas hasta Junio de 1860, se aumentó la comisión con los Sres. Pellicer, Brandariz, Maldonado y Reinlein (D. Guillermo).

la pieza francesa del mismo calibre, de la que ya se habían podido adquirir algunas noticias. Se propuso después reforzar el cañón de 32 con sunchos de hierro forjado, y en 18 de Septiembre del mismo año 1859, se hieron pruebas con los cañones sunchados, y de nuevo en Abril de 1860. Por supuesto, que se habían substituído las aletas fundidas con el proyectil, por tetones de aleación de plomo, zinc y estaño.

De todas estas pruebas resultaron los cañones de 16 cm. de hierro rayados y sunchados números 1, 2 y 3, de los cuales el 2 no ha subsistido, y el 1 y 3 se llamaron en lo sucesivo largo y corto.

Para los ensayos de *Sevilla* disponía la orden citada del Director general, que se rayasen dos piezas existentes, un cañón de 24 y un obús largo de 6 $^1/_2$ pulgadas, pieza ésta de campaña; pero el coronel D. Juan N. Domínguez Sangrán, director de la fundición, puso reparos á esta orden, representando en 26 de Enero de 1859, que era de temer que las piezas resistiesen poco después de rayadas, especialmente el obús, y que así se desacreditase *a priori* el bronce como metal para esta clase de artillería, y proponía, en consecuencia, rayar como primer ensayo cañones de 4 (8 centímetros). Aprobado por el Director general en 31 de Enero lo propuesto, se reunió la comisión bajo la presidencia del coronel Domínguez, y formada por los jefes y oficiales Alvear, Herrera (D. Jerónimo), Morales de los Ríos, Ruíz (D. Luis), Sevilla, Sangrán (D. Joaquín) y González de Velasco (D. Eduardo), y se adoptaron las siguientes bases: paso de hélice $3^m,6$ (tomando la proporción de las experiencias belgas con un cañón de 24); número de rayas, 2, 3 y 4 ensayadas sucesivamente, su profundidad 5 milímetros, anchura 34,9 mm., sección circular; proyectil de 82,5 mm. de diámetro, de dos calibres de largo, mitad cilindro, mitad ojiva, de 4,41 kg., con aletas de materia blanda. Las pruebas, empezadas en 1.° de Mayo de 1859, sorprendieron también por lo inusitado de los alcances y la regularidad en el tiro; ensayados sucesivamente los cañones de 2, 3 y 4 rayas, el tercero dió resultados muy superiores á los otros, y la comisión proponía adoptarlo; pero en Junio se hicieron nuevas pruebas con un cañón de 6 estrías y paso de $2^m,25$, imitado del francés, y el resultado fué tan satisfactorio, que en 17 de Agosto de 1859 se adoptaba el cañón de bronce rayado de 8 cm. largo, como pieza ligera de batalla; el 19 de Septiembre, el corto del mismo calibre para montaña; el 30 del

mismo mes, el corto de 12 cm., como cañón pesado de campaña, y la fabricación, ó mejor dicho, el rayado de las piezas lisas existentes, se condujo con tal actividad, que el ejército expedicionario de África pudo llevar á Marruecos, antes de acabarse el año, algunas baterías armadas con las piezas expresadas.

Sucesivamente se fueron adoptando el cañón de hierro rayado y sunchado de 16 cm. largo, en 6 de Octubre de 1859; el de bronce de 12 centímetros largo, en 14 de Marzo de 1862; el de hierro de 16 cm. corto, en 7 de Abril del mismo año. En 20 de Agosto de 1862 se decidió que los cañones de 15 cm. (antiguos de 24) se rayasen al calibre de 16 cm. para tirar el mismo proyectil que los de hierro de igual diámetro, ya aprobados, de donde resultó el cañón de bronce rayado de 16 cm. En Diciembre de 1860 se había decidido que las primitivas estrías de las pruebas de Sevilla, se substituyesen por otras de sección trapezoidal, y en 11 de Julio de 1866 se adoptó la raya estrechada en la recámara para que los tetones estuviesen al empezar el movimiento en contacto con la superficie de conducción de la raya. Por último, en 24 de Agosto de 1866 se introdujo un cañón de 7 cm. corto para el servicio de montaña en Filipinas.

Forman, por lo tanto, nuestro sistema de artillería rayada de avancarga ó de 1859 (36) ocho piezas, dos de ellas de hierro sunchadas y las demás de bronce; de éstas, dos de nueva fabricación (7 y 8 corto), las otras cuatro transformadas de las antiguas piezas lisas, conservando el calibre las de 8 y 12, aumentándolo en un centímetro las de 16. En todas ellas el sistema de rayado es análogo, aunque unas tienen tres estrías y otras seis (37); su sección es trapezoidal, de bastante profundidad y anchura, como propias para conducir proyectiles de tetones. Las rayas no

(36) Además de estas piezas existen algunas otras, como cañones Armstrong, de 7,6 cm., y otros del mismo calibre, sistema Whitworth, en muy pequeño número, como que sólo se adquirieron para experiencias. Hay, ademas, la artillería cogida á los carlistas, formada por cañones Whitworth de 4 1/2, 7 1/2 y 13 cm., que, según creemos, se remitió toda á Filipinas. Aunque poseemos datos numéricos y balísticos de todas estas piezas, prescindimos de darlos por no alargar demasiado esta Memoria.

(37) Puede parecer á primera vista anómalo que los cañones de mayor calibre tengan tres rayas y los de pequeño seis; pero esto depende de que aquellos fueron estudiados en Trubia (en el de bronce se imitó el rayado de los de hierro), que ensayó desde luego cañones de tres estrías, le dieron buen resultado y se contentó con ellos, mientras que los de 8 y 12 fueron proyectados en Sevilla, donde se ensayaron comparativamente los sistemas de 2, 3, 4 y 6 rayas, encontrando mejor el último, que se adoptó en consecuencia.

llegan al fondo del ánima, formando una recámara lisa cilíndrica del mismo diámetro que el ánima, terminada por un fondo plano, excepto en los cañones de hierro que la tienen un poco más estrecha que el ánima, y con fondo cóncavo. Los datos de estas piezas se encuentran en el cuadro siguiente:

Cañones rayados de avancarga.

		C. H. R. S. 16 cm. lg.	C. H. R. S. 16 cm. cr.	C. B. R. 16 cm.	C. B. R. 12 cm. lg.	C. B. R. 12 cm. cr.	C. B. R. 8 cm. lg.	C. B. R. 8 cm. cr.	C. B. R. 7 cm. cr.
Calibre exacto.	mm.	161	161	161	122	122	86,5	86,5	75,5
Longitud total de la pieza. .	mm.	3195	2688	3524	3154	2307	1750	1093	885
Longitud del ánima.	mm.	2685	2200	3096	2802	2002	1380	804	769
Longitud de la parte rayada.	mm.	2425	1950	2896	2646	1845	1260	708	»
Rayas.. Número.		3	3	3	6	6	6	6	6
Rayas.. Profundidad	mm.	4	4	4	5,2	5,2	4,25	4,25	4,25
Rayas.. Paso de la hélice. . .	calibres.	40,3	40,3	40,3	26,7	26,7	26,0	26,0	29,8
Volúmen total del ánima. . .	dm.^{3}	55,93	41,64	65,16	35,87	25,57	8,90	5,171	3,75
Distancia del eje de muñones á la boca.	mm.	1775	1506	1854	1676	1235	848	441	415
Diámetro exterior máximo. .	mm.	620	582	517	430	347	239	172	154
Diámetro de la tulipa.	mm.	345	335	381	305	268,2	182	150	120
Depresión del eje de muñones con relación al del ánima..	mm.	98,6	40	76,7	60,7	10	5	5	5
Peso de la pieza.	kg.	4100	2915	2800	1650	960	334	100	74

Nuestros cañones rayados de avancarga no disparan más que dos clases de proyectiles, la granada ordinaria y el bote de metralla. Las primeras son cilindro-ojivales con un chaflán plano anterior y culote también plano. El hueco interior es de forma de botella, terminando por arriba en la boquilla, abierta en la falsa boquilla, donde entra roscada la espoleta. Esta puede ser de tiempos (modelo 1862), que es de madera con virola roscada de bronce, ó de percusión sistema Echaluce (modelo 1865), con el cuerpo de bronce y percutor de hierro dulce.

Los botes de metralla llevan culote y envuelta de chapa de hierro, y las balas colocadas ordenadamente en lechos. No lo hay para los cañones de 16 cm.

Los datos de estos proyectiles son los que siguen:

Denominación		16	12	8	7
Granada ordinaria	Diámetro de la parte cilíndrica	mm. 159	120	84,5	73,5
	Longitud total	mm. 320	234	165	140
	Diámetro del chaflán anterior	mm. 62	55	36,5	36,5
	Radio de la ojiva	mm. 292	177	158	136,5
	Carga explosiva	kg. 1,3	0,38	0,15	0,10
	Peso total del proyectil cargado	kg. 28	10,93	4,25	2,405
Bote de metralla	Diámetro	mm.	118,5	81	
	Longitud	mm.	235,7	160	
	Número de balines		49	35 grandes. 60 pequeños.	
	Diámetro de cada uno	mm.	31	21 » 10	
	Peso de idem	gr.	115	44 » 4,8	
	Peso total del bote	kg.	6	3,45	

Montajes.—Por lo que se ha dicho en el capítulo IV, puede comprenderse fácilmente la variedad de montajes que se encuentran en nuestras fortalezas, tanto de cureñas propiamente de plaza, como de sitio y campaña. Los que sirvieron para la artillería lisa se utilizaron mediante reforma para la rayada, adoptándose para ésta además, otros nuevos de hierro.

Los principales modelos son:

Cureña de plaza, modelo 1780, sistema Gribeauval. Está descrita en la obra de Morla. Tiene gualderas corridas, tres teleras, telerón de contera, solera fija en dos teleras, eje de madera, cuñas de puntería.

Cureña de costa, modelo 1824, para cañón de 24. De forma de marina, sin ruedas, reemplazadas por molinetes; va sobre un marco alto de giro delantero, sin ruedas, que se apoya en la explanada.

Cureña de plaza, modelo 1824, de rastra, sin ruedas ni marco, con cuatro bolones como en los afustes de mortero.

Cureña de plaza, modelo 1827, de forma de marina, gualderas con seis escalones, tres teleras, solera fija, muñoneras y sobremuñoneras, cuatro ruedas pastecas.

Cureña de parapeto, modelo 1828, para cañones de 24 y 12 largo, análoga á las anteriores, pero con gualderas más altas, hasta 1m,44.

Cureña de plaza, modelo 1844, llamada de sistema inglés, para cañones de 24, 16, 12 y 8, forma de marina, gualderas con cuatro escalones, cuatro ruedas pastecas de hierro colado, telerón, solera movible, tornillo de puntería (antes se apuntaba con cuñas). Puede ir directamente sobre la explanada ó sobre marcos alto ó bajo, de costa el primero, de plaza y casamata el segundo.

Cureña de plaza, modelo 1846, análoga á la anterior, para los obuses de 21 y 16 cm. cortos. Tiene sobremuñoneras, de que carece la de 1844.

Cureña de costa, modelo 1852, para obuses largos de 21, de bronce y de hierro, del mismo sistema.

En 1856 se rectificaron las dimensiones de los modelos anteriores. Al marco bajo se le hizo descansar sobre durmientes, al alto de costa se le dotó de ruedas, en lugar de la banqueta que antes tenía.

Cureñas de plaza y costa, modelo 1857, para cañones de 24, 16, 12 y 8; obuses de hierro de 21 y 16 cm., y de bronce de 21 largo. Se igualó el carril de todas las cureñas, se arreglaron las dimensiones del marco alto, uno sólo para todas.

Cureña de plaza y casamata, modelo 1860. Se reformaron los sistemas anteriores por el sistema Otero, suprimiendo las ruedas traseras de la cureña, substituyéndolas por zapatas y palancas de rodete. Al marco bajo se le pusieron roldanas para ronzarlo más fácilmente. Para los cañones rayados de bronce de 16 y 12 largo, se adoptaron las cureñas de

24 y 12, para el de hierro de 16 largo la del obús de 21 de hierro, y para el corto la del obús de 16 del mismo metal.

Reforma de 1864.—Supresión de las ruedas delanteras, substituyéndolas por zapatas con ruedas pequeñas, que en el tiro no se apoyan en el marco, y sí al entrar en batería por la acción de las palancas de rodete. Cuña Warendorff en lugar del tornillo de puntería. Dos marcos bajos, uno horizontal y otro inclinado, un marco alto, que es el de 1857.

Cureña de plaza, modelo 1866, especial para el cañón de hierro de 16 corto, análoga al modelo de 1844, sin marco, con cuatro ruedas de fundición, dispuesta especialmente para el tiro por grandes depresiones.

Todas las cureñas anteriores eran de madera, reforzadas por supuesto con herrajes. En 1866 se adoptaron las de chapa de hierro que forman las

Cureñas de plaza y costa, modelo 1866, entre las cuales la núm. 1 está destinada á los cañones de 16 cm., tanto de bronce como de hierro, á los cañones lisos de 15 cm., y á los obuses largos de 21 cm. de hierro y bronce. Se coloca sobre dos marcos: el núm. 1, modelo 1868, es bajo para plaza y casamata; el núm. 2, alto para barbeta. La cureña es de gualderas triangulares, los marcos tienen los brancales formados por vigas de I, el bajo tiene el giro delantero; el alto central un poco adelantado.

En la imposibilidad de reunir los datos numéricos de todos los montajes anteriores, presentamos los de los tipos más recientes, ó sean los modelos 1864 y 1866.

Montajes de plaza con marco.

Material	De madera.							De chapa de hierro.	
Cureña	Cureñas de plaza modelo 1864.							Cureña modelo 1866 núm. 1.	
Marco	Marco de pl. y casam. modelo 1864 núm. 1.		Marco de pl. y casam. modelo 1864 núm. 2.		Marco de costa modelo 1857.			Marco de pl. y cas. modelo 1868 núm. 1.	Marco de costa modelo 1868 núm. 2.
Piezas para que sirve	C. B. R. 16. C. B. L. 15.	O. B. 21 lg.	O. H. 21 lg. C. H. R. S. 16 lg.	O. H. 16 lg. C. B. L. 13 y 12. C. H. R. S. 16 cr. C. B. R. 12.	C. B. R. 16. C. H. R. S. 16 lg. C. B. L. 15. O. H. 21 lg.	O. B. 21 lg.	C. H. R. S. 16 cr. C. B. R. 12. O. H. 16 lg. C. B. L. 13 y 12.	C. B. R. 16. C. H. R. S. 16 lg. y cr. C. B. L. 15. O. H. 21 lg. O. B. 21 lg.	
Altura del eje de muñones sobre la explanada.. mm.	1445	1325	1410	1285	1990	1865	1860	1350	2100
Longitud del marco.... mm.	4000	4000	3750	3750	5000	5000	5000	4500	4500
Altura del marco en testera..... mm.	342	342	340	340	880	880	880	410	1134
Inclinación del marco.....	5°	5°	0°	0°	5°	5°	5°	4°	4°
Distancia del eje de giro á la testera del marco.. mm.	+ 490	+ 490	+ 485	+ 485	— 300	— 300	— 300	+ 410	—1350
Anchura exterior del marco..... mm.	1285	1285	1285	1285	1285	1285	1285	878	878
Radio medio de la primera carrilera..... mm.	800	800	800	800	2200	2200	2200	800	810
Su anchura..... mm.	120	120	120	120	400	400	400	200	200
Radio medio de la segunda carrilera..... mm.	2270	2270	2270	2270	4100	4100	4100	3835	2390
Su anchura..... mm.	120	120	120	120	400	400	400	150	150
Radio medio de la tercera carrilera..... mm.	3835	3835	3835	3835	»	»	»	»	»
Su anchura..... mm.	120	120	120	120	»	»	»	»	»
Campo de tiro horizontal que permiten los carriles.....	»	»	»	»	»	»	»	45°	120°
Peso de la cureña..... kg.	810	796	765	665	810 y 765	796	665	910	910
Peso del marco..... kg.	465	465	412	412	1156	1156	1156	2719	2309

Las cureñas de sitio son las siguientes:

Cureñas modelo 1790, sistema Gribeauval, con dos gualderas y ruedas.

Cureñas modelo 1846, sistema inglés ó de mástil: una para el cañón de 24, otra para el de 16 y obús de 8 pulgadas.

Cureña modelo 1864, reforma del anterior para el cañón de bronce rayado de 16 cm.

Las de campaña son:

Modelo 1792, de Griveaubal, de gualderas.

Modelos 1829 y *1830*, sistema inglés de mástil, para cañones de 4, 8 y 12, y obuses de 6 $^1/_2$ y 7 pulgadas.

Reformas de 1859 y *1861*, y *modelo 1863*, del mismo sistema, para los cañones rayados de 8 cm. largo y 12 corto.

Modelos 1863, de mástil, y *1869*, de gualderas, de montaña, para los cañones de 8 cm. corto y de 7.

Los datos de las cureñas de ruedas son los que siguen:

Cureñas de ruedas *(batalla, montaña y sitio).*

		Montaña. Md. 1863.	Montaña. Md. 1863.	Batalla. Md. 1863.	Batalla. Md. 1830. Rf. 1861.	Sitio. Md. 1846.	Sitio. Md. 1846. (*)	Sitio. Md. 1846. Rf. 1864.
PIEZAS PARA QUE SIRVE		C. B. R. 8 cr.	C. B. R. 7	C. B. R. 8 lg.	C. B. R 12 cr.	C. B. L. 15 / O. B. L. 21 cr.	C. B. L. 13	C. B. R. 16
Altura del eje de muñones sobre el terreno	mm.	695	695	960	1125	1240	1220	1285
Diámetro de las ruedas	mm.	880	835	1300	1380	1490	1490	1380
Carril	mm.	908	870	1505	1556	1625	1625	1625
Distancia de la parte anterior de las ruedas á la boca de la pieza.	mm.	— 40	— 8	300	550	1110	880	1093
Distancia horizontal del eje de las ruedas á la contera	mm.	1140	1140	2055	2300	3074	2940	3074
Peso de la cureña	kg.	143	126	350	577	1180	1046	1180

(*) Esta cureña se ha reformado al modelo 1876 para el C. B. Cc. 14 cm. (véase página 46). En el cuadro de dimensiones de la citada página, última columna, substitúyase á las comillas los números 1540 y 2940.

Los *afustes de morteros* lisos son de rastra, con bolones salientes para ronzarlos por medio de palancas. Los de los morteros gruesos tienen gualderas de bronce, y son de madera con herrajes los afustes del mortero de 16 cm.

Hay afustes antiguos de modelos variados y los modernos son de modelo 1861 los de 32 y 27 cm., y 1864 el de 16 cm.

Un dato interesante es el conocimiento de los ángulos máximo y mínimo de elevación que pueden tomar las piezas en cada montaje. He aquí los datos que nos hemos podido proporcionar, no todos seguros.

C. B. R. 16 cm.	Montaje de chapa modelo 1866-68	+ 20°	— 13°
	Montaje de madera modelo 1864 (plaza)	+ 18°	— 3°
	Id. de sitio modelo 1864	+ 16°	± 0°
C. H. R. S. 16 cm. lg.	Montaje de chapa modelo 1866-68	+ 20°	— 13°
C. H. R. S. 16 cm. cr.	Id. id. id.	+ 20°	— 13°
	Cureña de plaza modelo 1866 de madera (especial)	+ 19°	— 38°
C. B. R. 12 cm. lg.	Montaje de madera modelo 1864 (plaza)	+ 12°	± 0°
C. B. R. 12 cm. cr.	Cureña de batalla modelo 1830-61	+ 16°	— 6°
	Cureña de plaza (marina)	+ 15°	
C. B. R. 8 cm. lg.	Cureña de batalla modelo 1863	+ 17°	— 6° 30′
	Cureña de plaza (marina)	+ 23°	
C. B. R. 8 cm. cr.	Cureña de montaña modelo 1863	+ 20°	
	Id. id. modelo 1869	+ 25°	
C. B. R. 7 cm.	Id. id. modelo 1863	+ 20°	
C. B. L. 15 cm.	Cureña de plaza Gribeauval	+ 12°	— 10°
	Cureña de sobreparapeto	+ 10°	
	Cureña de plaza (marina)	+ 14°	
	Cureña de sitio modelo 1846	+ 9°	— 13°

Obús corto de 21 cm.	Cureña de plaza	+ 16° 30′	— 10°
Obús corto de 16 cm.	Id. id.	+ 28°	— 15°
Mortero cónico de 32 cm.	Afuste antiguo	+ 90°	+ 45°
	Afuste modelo 1861	+ 90°	+ 41°
Mortero cónico de 27 cm.	Afuste antiguo	+ 90°	+ 45°
	Afuste modelo 1861 de plaza	+ 90°	+ 41°
	Id. id. de sitio	+ 90°	+ 10°
Mortero cónico de 16 cm.	Afuste antiguo	+ 90°	+ 45°
	Afuste modelo 1864	+ 45°	+ 9°

DATOS BALÍSTICOS. De modo análogo á lo que hemos hecho en los capítulos I y II para las piezas de retrocarga, presentamos en la misma forma los datos sobre el tiro de los cañones rayados y de los morteros lisos (38) de avancarga.

---

(38) Las tablas de tiro oficiales de las piezas rayadas de avancarga, sólo presentan en correspondencia con cada distancia el alza y deriva que debe emplearse para apuntar. Para el objeto que nos proponemos, esto es innecesario é insuficiente; por esta razón hemos calculado por los métodos modernos de Balística (métodos de Siacci, de Chapel y de Otto) los datos que van en los cuadros de las páginas que siguen.

Faltándonos para la mayoría de las piezas el importantísimo conocimiento de la velocidad inicial correspondiente á la carga reglamentaria, la hemos calculado por la fórmula [6] (capítulo XII de la *Balística abreviada* en publicacion, página 97) tomando como datos de experiencia para calcular el coeficiente H, los valores conocidos de las velocidades iniciales medidas en los cañones de 8 largo y 12 corto con la pólvora de 2 ½ mm., y con la de 5 mm. en el cañón de hierro sunchado de 16 cm. largo, cuando se hicieron las pruebas que precedieron á la adopción de las pólvoras de 1869. (Estados numéricos que acompañan á la Orden del Regente del Reino de 21 de Octubre de 1869.) Para la pólvora prismática de 7 canales nos hemos valido de las velocidades medidas en el cañón de bronce de 16 cm. (Acta de la Junta Especial de Artillería de 27 de Enero de 1886, núm. 37.)

Con la velocidad inicial y el coeficiente balístico de cada proyectil, se han calculado los ángulos de elevación y de caída, tiempos, velocidades remanentes, y como consecuencia de éstas, las energías y factor de penetración (fórmula de Parodi).

Faltaban los datos de precisión del tiro, ó sean los anchos de las zonas que contienen el 50 por 100 de los disparos en los tres sentidos, lateral, vertical y longitudinal, los cuales no es posible calcularlos *a priori*, sin contar con algunos datos de experiencia, que no poseíamos. Sin embargo, como era muy interesante conocer, aunque no fuera más que de un modo *groseramente aproximado*, estos datos, nos hemos atrevido á valernos de un artificio, que no sabemos si merecerá la aprobación de los inteligentes.

Considerando que los cañones franceses de 4,12 y 24 rayados de bronce son muy semejantes á los nuestros de 8,12 y 16 cm., como que los dos primeros tienen exactamente el mismo calibre y casi iguales dimensiones, con rayado idéntico, y que los de hierro de 16 cm. y de 30 son muy parecidos á los nuestros H. R. S. 16 cm. largo y corto, supusimos que tomando como base los datos de sus tablas de tiro, podríamos calcular los que necesitábamos.

Por medio de las fórmulas de Hélie [K] y [L] (*Balística abreviada* que ántes hemos citado, capítulo XIII, página 108) hemos determinado los valores de los coeficientes h_1 y h_2, tomando el término medio de varias distancias para cada pieza; hemos observado la marcha general de los valores numéricos obtenidos y hecho algunas ligerísimas correcciones que estableciesen una especie de compensación y en seguida hemos calculado la zona lateral y la longitudinal para cada pieza (excepto el cañón de 7) y cada distancia, valiéndonos de las correspondientes velocidades iniciales y ángulos de proyección, por medio de las fórmulas [I] y [J] (*loc. cit*).

Claro es que los resultados de este cálculo *conjetural* no pueden ofrecer la aproximación que ten-

Prescindimos de los cañones y obuses lisos porque estas piezas no pueden servir útilmente en la actualidad más que para disparar metralla.

---

drían los deducidos directamente de la experiencia, pero á falta de éstos, aquellos pueden dar indicaciones, no del todo inútiles, acerca de la eficacia que puede esperarse del fuego de una pieza en circunstancias dadas, mucho más si se tiene en cuenta el valor puramente relativo que tienen estos datos de precisión, pues aún dentro del mismo modelo, las piezas individuales, los ejemplares distintos, es sabido que no tiran de un modo exactamente igual, y que los datos que consignan las tablas de tiro oficiales corresponden, no á cada pieza en particular, sino á una *pieza media*, que representa el comportamiento medio de todas ellas.

Repetimos además lo ya dicho en la página 21, esto es, que no pretendemos haber calculado *tablas de tiro*, sino simplemente *datos sobre el tiro*, pero no considerados desde el punto de vista de la ejecución del fuego y de su corrección, sino desde el de *su eficacia*, que es lo que para el objeto de esta memoria nos interesaba.

DATOS *sobre el tiro del cañón de bronce rayado de 16 cm. de avancarga, con proyectil de 28 kg. de peso.*

Distancias. — *Metros.*	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria — *Segundos.*	Velocidad remanente tangencial. — *m × 1″*	Energía del proyectil: Total. — *Tonelámetros*	Energía del proyectil: por cm. de circunferencia. — *Tonelámetros*	Energía del proyectil: por cm.³ de la esfera de igual diámetro. — *Kilográmetrs*	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: lateral. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: vertical. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: longitudinal. — *Metros.*
	Carga: 3,5 kg. de pólvora de 5 mm. (1869). Velocidad inicial: 350 m. × 1″.											
500	1° 16′	1° 21′	0,0236	1,53	313,9	140,7	2,81	69,9	3,43	0,89	0,96	40,6
1000	2° 41′	3° 3′	0,0532	3,17	291,0	120,9	2,42	57,5	3,18	1,89	2,19	41,2
1500	4° 15′	4° 57′	0,0866	4,91	274,9	107,9	2,16	51,1	3,00	3,00	3,66	42,3
2000	5° 58′	7° 11′	0,1260	6,89	260,4	96,8	1,94	46,0	2,84	4,20	5,55	44,0
3000	10° 3′	12° 43′	0,2256	11,05	236,5	79,8	1,60	37,9	2,56	7,05	11,22	49,8
4000	14° 53′	19° 54′	0,3618	15,90	117,7	67,6	1,35	32,2	2,34	10,4	21,00	58,2
4175	16°	21° 24′	0,3917	16,85	215,3	66,2	1,32	31,5	2,30	11,1	»	60,2
4785	20°	27° 10′	0,5130	20,45	207,0	61,2	1,22	29,1	2,20	13,8	»	67,6
	Carga: 4 kg. de pólvora prismática de 7 canales ó 3 kg. de pólvora de 5 mm. (1869). Velocidad inicial: 315 m. × 1″.											
500	1° 30′	1° 39′	0,0286	1,66	291,4	121,2	2,42	57,5	3,18	0,86	0,94	33,0
1000	3° 9′	3° 32′	0,0618	3,43	274,8	107,8	2,16	51,1	3,00	1,80	2,09	33,8
1500	4° 56′	5° 42′	0,0998	5,30	260,8	97,2	1,94	46,2	2,84	2,81	3,52	35,3
2000	6° 58′	8° 6′	0,1425	7,31	247,5	87,4	1,75	41,5	2,69	3,97	5,37	37,7
3000	11° 39′	14° 10′	0,2525	11,79	225,3	72,5	1,45	34,5	2,43	6,61	11,32	44,8
3795	16°	20° 26′	0,3726	15,90	211,2	63,7	1,27	30,3	2,25	9,03	19,6	52,5
4000	17° 20′	22° 19′	0,4104	17,08	207,7	61,6	1,23	29,3	2,20	9,75	22,5	54,9
4380	20°	26° 3′	0,4889	19,37	203,3	59,1	1,18	28,0	2,15	11,2	»	59,6

Datos *sobre el tiro del cañón de hierro rayado y sunchado de 16 cm., largo, de avancarga, con proyectil de 28 kg. de peso.*

Distancias. — Metros.	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — Segundos.	Velocidad remanente tangencial. — m × 1″	Energía del proyectil: Total. — Tonelámetros	Energía del proyectil: por cm. de circunferencia. — Tonelámetros	Energía del proyectil: por cm.² de la esfera de igual diámetro. — Kilográmetrs	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: lateral. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: vertical. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: longitudinal. — Metros.
	Carga: 3,5 kg. de pólvora de 5 mm. (1869). Velocidad inicial: 338 m. × 1″.											
500	1° 21′	1° 26′	0,0250	1,57	306,3	133,9	2,68	63,6	3,32	1,02	1,10	44,1
1000	2° 39′	3° 11′	0,0556	3,26	286,4	117,1	2,34	55,6	3,12	1,99	2,61	46,9
1500	4° 27′	5° 8′	0,0898	5,05	270,3	104,4	2,09	49,7	2,95	3,34	4,79	53,3
2000	6° 13′	7° 26′	0,1304	6,98	256,8	94,2	1,88	44,7	2,79	4,67	8,01	61,4
2500	8° 22′	10° 6′	0,1782	9,04	244,2	85,2	1,70	40,5	2,65	6,27	12,94	72,6
3000	10° 34′	13° 11′	0,2342	11,27	234,0	78,2	1,56	37,3	2,54	7,89	»	84,9
4000	15° 38′	20° 37′	0,3762	16,24	214,4	65,7	1,31	31,3	2,29	11,6	»	113,9
4660	20°	26° 48′	0,5051	20,12	205,8	60,5	1.21	28,7	2,18	14,8	»	137,5
	Carga: 3 kg. de pólvora de 5 mm. (1869). Velocidad inicial: 305 m. × 1″.											
500	1° 32′	1° 45′	0,0305	1,70	284,1	115,2	2,30	54,7	3,12	0,94	1,11	36,4
1000	3° 19′	3° 44′	0,0651	3,52	268,4	102,9	2,06	48,9	2,92	2,02	2,67	41,0
1500	5° 10′	5° 59′	0,1047	6,30	255,2	93,0	1,86	44,2	2,77	3,16	5,04	48,1
2000	7° 19′	8° 30′	0,1495	7,49	242,6	84,0	1,68	39,9	2,63	4,46	8,70	58,2
3000	12° 15′	14° 46′	0,2634	12,08	221,1	69,8	1,40	33,2	2,35	7,44	22,11	83,9
4000	18° 17′	23° 17′	0,4202	17,53	204,4	59,7	1,19	28,4	2,08	11,0	»	115,1
4230	20°	25° 40′	0,4804	18.97	201,8	58.2	1,16	27,6	2,06	12,0	»	123,4
	Carga: 3,5 kg. de pólvora prismática de 7 canales. Velocidad inicial: 280 m. × 1″.											
500	1° 50′	2° 4′	0,0360	1,79	263,6	99,19	1,99	47,1	2,87	0,94	1,13	31,5
1000	3° 48′	4° 22′	0,0764	3,76	250,0	89,27	1,79	42,4	2,72	1,96	2,84	37,1
1500	5° 54′	6° 57′	0,1218	5,82	237,9	80,75	1,62	38,3	2,59	3,04	4,51	45,6
2000	8° 22′	9° 46′	0,1722	8,04	226,7	73,40	1,47	34,9	2,45	4,30	9,85	57,1
3000	14° 19′	17° 2′	0,3063	13,09	207,6	61,53	1,23	29,3	2,21	7,31	26,5	86,4
3815	20°	24° 56′	0,4648	17,84	196,0	54,84	1,09	25,9	2,06	10,11	»	112,8

Datos *sobre el tiro del cañón de hierro rayado y sunchado de 16 cm., corto, de avancarga, con proyectil de 28 kg. de peso.*

Distancias — Metros.	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria — Segundos.	Velocidad remanente tangencial. — m × 1″	Energía del proyectil: Total. — Tonelámetros	Energía del proyectil: por cm. de circunferencia. — Tonelámetros	Energía del proyectil: por cm.³ de la esfera de igual diámetro. — Kilográmetrs	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: lateral. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: vertical. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: longitudinal. — Metros.
	Carga: 3,5 kg. de pólvora de 5 mm. (1869). Velocidad inicial: 315 m. × 1″.											
500	1° 30′	1° 59′	0,0286	1,66	291,4	121,2	2,42	57,6	3,18	1,02	1,14	40,0
1000	3° 9′	3° 32′	0,0618	3,43	274,8	107,8	2,16	51,2	3,00	2,12	2,73	44,2
1500	4° 56′	5° 42′	0,0998	5,30	260,8	97,2	1,94	46,2	2,85	3,32	5,10	51,1
2000	6° 58′	8° 6′	0,1425	7,31	247,5	87,4	1,75	41,5	2,68	4,69	8,66	60,8
3000	11° 39′	14° 10′	0,2525	11,79	225,3	72,5	1,55	34,5	2,43	7,80	21,75	86,1
4000	17° 20′	22° 19′	0,4104	17,08	207,7	61,6	1,23	29,3	2,21	11,5	»	117,2
4380	20°	26° 3′	0,4889	19,37	203,3	59,1	1,18	28,0	2,15	13,2	»	130,9
	Carga: 3 kg. de pólvora de 5 mm. (1869). Velocidad inicial: 285 m. × 1″.											
500	1° 47′	1° 59′	0,0347	1,79	267,8	102,4	2,05	48,9	2,93	0,99	1,16	33,5
1000	3° 41′	4° 14′	0,0738	3,70	254,0	92,2	1,84	43,8	2,77	1,61	2,88	38,9
1500	5° 44′	6° 43′	0,1179	5,73	241,8	83,5	1,67	39,7	2,63	3,16	5,58	47,3
2000	8° 9′	9° 29′	0,1671	7,91	230,7	75,9	1,52	36,0	2,50	4,49	9,84	58,8
3000	13° 41′	16° 27′	0,2952	12,79	210,8	63,5	1,27	30,2	2,24	7,49	»	87,2
3680	20°	23° 6′	0,4265	16,82	198,8	56,4	1,13	26,8	2,09	10,8	»	117,9
	Carga: 3,5 kg. de pólvora prismática de 7 canales. Velocidad inicial: 265 m. × 1″.											
500	2°	2° 21′	0,0409	1,93	250,6	89,64	1,80	42,5	2,73	0,96	1,21	29,7
1000	4° 8′	4° 53′	0,0855	3,97	237,8	80,74	1,62	38,3	2,59	1,97	3,10	36,2
1500	6° 29′	7° 45′	0,1360	6,15	226,8	73,47	1,47	34,9	2,45	3,09	6,26	46,0
2000	9° 16′	11° 2′	0,1950	8,49	213,8	65,24	1,31	31,0	2,28	4,41	11,52	59,1
3000	15° 40′	19° 9′	0,3473	13,74	199,1	56,58	1,13	26,8	2,10	7,70	»	89,9
3550	20°	24° 50′	0,4626	17,23	191,5	52,40	1,05	24,9	2,00	9,37	»	109,3

DATOS *sobre el tiro del cañón de bronce rayado de 12 cm., largo, de avancarga, con proyectil de 10,93 kg. de peso.*

Distancias. — Metros.	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — Segundos.	Velocidad remanente tangencial. — m × 1″	Energía del proyectil: Total. — Tonelámetros	Energía del proyectil: por cm. de circunferencia. — Tonelámetros	Energía del proyectil: por cm.³ de la esfera de igual diámetro. — Kilográmetrs	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: lateral. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: vertical. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: longitudinal. — Metros.
	Carga: 1,8 kg. de pólvora de 2 1/2 mm. (1869) ó 2,5 kg. de pólvora prismática de 7 canales. Velocidad inicial: 415 m. × 1″.											
500	0° 57′	1° 5′	0,0188	1,35	340,3	64,56	1,71	71,2	2,52	0,98	1,12	59,4
1000	2° 10′	2° 41′	0,0469	2,93	297,6	49,36	1,31	54,5	2,22	2,24	2,82	60,2
1500	3° 38′	5° 50′	0,1021	4,71	272,7	41,45	1,10	45,8	2,04	3,75	6,32	61,9
2000	5° 19′	7° 11′	0,1260	6,64	252,9	35,64	0,94	39,4	1,86	5,50	8,15	64,7
3000	9° 29′	13° 34′	0,2413	11,06	220,0	26,98	0,71	29,8	1,62	9,76	18,09	75,0
3490	12°	17° 36′	0,3171	13,54	206,8	23,85	0,63	26,3	1,50	12,3	26,2	82,6
4000	15° 1′	22° 39′	0,4172	16,45	196,9	21,60	0,57	23,9	1,42	15,3	»	92,3
4420	18°	27° 29′	0,5204	19,14	189,7	20,04	0,53	22,1	1,35	18,3	»	102,1

Datos *sobre el tiro del cañón de hierro rayado y sunchado de 16 cm., corto, de avancarga, con proyectil de 28 kg. de peso.*

Distancias — Metros.	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria — Segundos.	Velocidad remanente tangencial — m × 1″	Energía del proyectil Total — Tonelámetros	Energía del proyectil por cm. de circunferencia — Tonelámetros	Energía del proyectil por cm.³ de la esfera de igual diámetro — Kilográmetrs	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido lateral — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido vertical — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido longitudinal — Metros.
	Carga: 3,5 kg. de pólvora de 5 mm. (1869). Velocidad inicial: 315 m. × 1″.											
500	1° 30′	1° 39′	0,0286	1,66	291,4	121,2	2,42	57,6	3,18	1,02	1,14	40,0
1000	3° 9′	3° 32′	0,0618	3,43	274,8	107,8	2,16	51,2	3,00	2,12	2,73	44,2
1500	4° 56′	5° 42′	0,0998	5,30	260,8	97,2	1,94	46,2	2,85	3,32	5,10	51,1
2000	6° 58′	8° 6′	0,1425	7,31	247,5	87,4	1,75	41,5	2,68	4,69	8,66	60,8
3000	11° 39′	14° 10′	0,2525	11,79	225,3	72,5	1,55	34,5	2,43	7,80	21,75	86,1
4000	17° 20′	22° 19′	0,4104	17,08	207,7	61,6	1,23	29,3	2,21	11,5	»	117,2
4380	20°	26° 3′	0,4889	19,37	203,3	59,1	1,18	28,0	2,15	13,2	»	130,9
	Carga: 3 kg. de pólvora de 5 mm. (1869). Velocidad inicial: 285 m. × 1″.											
500	1° 47′	1° 59′	0,0347	1,79	267,8	102,4	2,05	48,9	2,93	0,99	1,16	33,5
1000	3° 41′	4° 14′	0,0738	3,70	254,0	92,2	1,84	43,8	2,77	1,61	2,88	38,9
1500	5° 44′	6° 43′	0,1179	5,73	241,8	83,5	1,67	39,7	2,63	3,16	5,58	47,3
2000	8° 9′	9° 29′	0,1671	7,91	230,7	75,9	1,52	36,0	2,50	4,49	9,84	58,8
3000	13° 41′	16° 27′	0,2952	12,79	210,8	63,5	1,27	30,2	2,24	7,49	»	87,2
3680	20°	23° 6′	0,4265	16,82	198,8	56,4	1,13	26,8	2,09	10,8	»	117,9
	Carga: 3,5 kg. de pólvora prismática de 7 canales. Velocidad inicial: 265 m. × 1″.											
500	2°	2° 21′	0,0409	1,93	250,6	89,64	1,80	42,5	2,73	0,96	1,21	29,7
1000	4° 8′	4° 53′	0,0855	3,97	237,8	80,74	1,62	38,3	2,59	1,97	3,10	36,2
1500	6° 29′	7° 45′	0,1360	6,15	226,8	73,47	1,47	34,9	2,45	3,09	6,26	46,0
2000	9° 16′	11° 2′	0,1950	8,49	213,8	65,24	1,31	31,0	2,28	4,41	11,52	59,1
3000	15° 40′	19° 9′	0,3473	13,74	199,1	56,58	1,13	26,8	2,10	7,70	»	89,9
3550	20°	24° 50′	0,4626	17,23	191,5	52,40	1,05	24,9	2,00	9,37	»	109,3

DATOS *sobre el tiro del cañón de bronce rayado de 12 cm., largo, de avancarga, con proyectil de 10,93 kg. de peso.*

Distancias. — Metros.	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — Segundos.	Velocidad remanente tangencial. — m × 1″	Energía del proyectil Total. — Toneláimetros	Energía del proyectil por cm. de circunferencia. — Toneláimetros	Energía del proyectil por cm.³ de la esfera de igual diámetro. — Kilográmetrs	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido lateral. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido vertical. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido longitudinal. — Metros.
	Carga: 1,8 kg. de pólvora de 2 ½ mm. (1869) ó 2,5 kg. de pólvora prismática de 7 canales. Velocidad inicial: 415 m. × 1″.											
500	0° 57′	1° 5′	0,0188	1,35	340,3	64,56	1,71	71,2	2,52	0,98	1,12	59,4
1000	2° 10′	2° 41′	0,0469	2,93	297,6	49,36	1,31	54,5	2,22	2,24	2,82	60,2
1500	3° 38′	5° 50′	0,1021	4,71	272,7	41,45	1,10	45,8	2,04	3,75	6,32	61,9
2000	5° 19′	7° 11′	0,1260	6,64	252,9	35,64	0,94	39,4	1,86	5,50	8,15	64,7
3000	9° 29′	13° 34′	0,2413	11,06	220,0	26,98	0,71	29,8	1,62	9,76	18,09	75,0
3490	12°	17° 36′	0,3171	13,54	206,8	23,85	0,63	26,3	1,50	12,3	26,2	82,6
4000	15° 1′	22° 39′	0,4172	16,45	196,9	21,60	0,57	23,9	1,42	15,3	»	92,3
4420	18°	27° 29′	0,5204	19,14	189,7	20,04	0,53	22,1	1,35	18,3	»	102,1

DATOS *sobre el tiro del cañón de bronce rayado, de 12 cm., corto, de avancarga, con proyectil de 10,93 kg. de peso.*

Distancias — *Metros.*	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — *Segundos.*	Velocidad remanente tangencial. — *m × 1″*	Energía del proyectil: Total. — *Toneláметros*	Energía del proyectil: por cm. de circunferencia. — *Toneláметros*	Energía del proyectil: por cm.³ de la esfera de igual diámetro. — *Kilográmetrs*	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: lateral. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: vertical. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: longitudinal. — *Metros.*
	Carga: 1,65 kg. de pólvora de 2 ½ mm. (1869), ó 2,22 kg. de pólvora de 6/10 mm. Velocidad inicial: 365 m. × 1″. Tiro directo.											
500	1° 12′	1° 20′	0,0254	1,50	310,6	53,76	1,42	59,3	2,32	1,00	1,12	48,1
1000	2° 39′	3° 9′	0,0549	3,20	281,0	44,00	1,16	48,6	2,10	2,19	2,77	50,4
1500	4° 20′	5° 18′	0,0928	5,06	259,6	37,56	0,99	41,5	1,94	3,59	5,10	54,9
2000	6° 15′	8° 1′	0,1410	7,10	237,7	31,49	0,83	34,8	1,76	5,16	8,73	61,9
3000	10° 53′	15° 2′	0,2686	11,76	210,7	24,74	0,66	27,3	1,54	8,96	22,31	83,0
3685	15°	21° 32′	0,3946	15,57	195,0	21,18	0,56	23,4	1,40	12,3	»	103,4
3810	16°	22° 54′	0,4223	16,35	192,6	20,66	0,55	22,8	1,38	13,1	»	108,3
	Carga: 1,10 kg. de pólvora de 2 ½ mm. (1869), ó 1,48 kg. de pólvora de 6/10 mm. (2/3 de la máxima). Velocidad inicial: 287,5 m. × 1″. Tiro indirecto.											
1000	3° 46′	4° 9′	0,0724	3,75	249,1	34,57	0,92	38,3	1,86	1,93	2,54	35,1
1500	5° 58′	6° 53′	0,1206	5,86	232,3	30,08	0,82	33,2	1,72	3,06	5,09	42,2
2000	8° 26′	10° 11′	0,1795	8,15	216,9	26,22	0,69	29,0	1,59	4,31	9,28	51,7
2500	11° 14′	14° 9′	0,2521	10,67	203,0	22,96	0,61	25,4	1,47	5,73	15,94	63,3
3000	14° 30′	19°	0,3447	13,45	191,3	20,40	0,54	22,5	1,37	7,36	»	76,9
	Carga: 0,55 kg. de pólvora de 2 ½ mm. (1869), ó 0,74 kg. de pólvora de 6/10 mm. (1/3 de la máxima). Velocidad inicial: 189,7 m. × 1″. Tiro indirecto.											
1000	8° 45′	9° 37′	0,1694	5,73	164,6	15,11	0,40	16,7	1,13	1,95	5,43	32,0
1500	14° 9′	16° 13′	0,2910	9,10	154,5	13,31	0,35	14,7	1,03	3,13	14,0	48,1
2000	20° 53′	24° 47′	0,4618	13,04	146,6	11,98	0,32	13,2	0,96	4,56	30,7	66,4

DATOS *sobre el tiro del cañón de bronce rayado, de 8 cm., largo, de avancarga, con proyectil de 4,26 kg. de peso.*

Distancias. — *Metros.*	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — *Segundos.*	Velocidad remanente tangencial. — *m × 1″*	Energía del proyectil: Total. — *Tonelámetros*	Energía del proyectil: por cm. de circunferencia. — *Tonelámetros*	Energía del proyectil: por cm.^{5} de la esfera de igual diámetro. — *Kilográmetrs*	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: lateral. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: vertical. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: longitudinal. — *Metros.*
	Carga: 0,6 kg. de pólvora de 2 $^1/_2$ mm. (1869) ó 0,8 kg. de pólvora de $^6/_{10}$ mm. Velocidad inicial: 335 m. × 1″.											
500	1° 25′	1° 35′	0,0277	1,63	287,6	17,98	0,68	57,0	1,69	1,27	1,45	52,2
1000	3° 14′	3° 40′	0,0640	3,46	259,3	14,59	0,55	46,2	1,52	2,92	3,48	54,4
1500	5° 10′	6° 21′	0,1113	5,51	235,6	12,06	0,45	38,2	1,37	4,65	6,49	58,4
2000	7° 25′	9° 44′	0,1711	7,80	215,0	10,04	0,38	31,9	1,24	6,66	11,08	64,6
2500	10° 11′	13° 57′	0,2484	10,35	198,0	8,51	0,32	27,0	1,12	9,13	18,36	73,9
3000	13° 15′	19° 13′	0,3484	13,21	183,9	7,35	0,28	23,6	1,02	11,8	29,7	85,2
3450	17°	25° 7′	0,4687	16,18	174,6	6,62	0,25	21,0	0,96	15,1	»	99,4
4000	22° 24′	33° 48′	0,6692	20,42	167,1	6,07	0,23	19,2	0,90	19,7	»	118,9
4050	23°	34° 41′	0,6921	20,84	166,7	6,04	0,23	19,1	0,90	20,2	»	120,9

DATOS *sobre el tiro del cañón de bronce rayado de 8 cm., corto, de avancarga, con proyectil de 4,26 kg. de peso.*

Distancias. — Metros.	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — Segundos.	Velocidad remanente tangencial. — m × 1″	Energía del proyectil: Total. — Tonelámetros	Energía del proyectil: por cm. de circunferencia. — Tonelámetros	Energía del proyectil: por cm.² de la esfera de igual diámetro. — Kilográmetrs	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: lateral. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: vertical. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido: longitudinal — Metros.
	Carga: 0,35 kg. de pólvora de 2 ½ mm. (1869), ó 0,47 kg. de pólvora de 6/10 mm. Velocidad inicial: 215 m × 1″. Tiro directo.											
500	2° 57′	3° 48′	0,0664	2,39	196,3	8,34	0,31	26,4	1,11	1,18	1,69	25,4
1000	6° 44′	8° 6′	0,1423	5,12	180,1	7,04	0,26	22,3	0,99	2,68	4,82	33,8
1500	11° 5′	13° 25′	0,2386	8,19	165,9	5,97	0,22	18,9	0,89	4,40	11,17	46,8
2000	16° 37′	21° 37′	0,3963	11,68	155,3	5,24	0,20	16,6	0,82	6,54	25,01	63,1
2250	20°	26° 3′	0,4888	13,73	149,6	4,86	0,18	15,4	0,77	7,82	35,50	72,6
	Carga: 0,25 kg. de pólvora de 2 ½ mm. (1869), ó 0,335 kg. de pólvora de 6/10 mm. (5/7 de la máxima). Velocidad inicial: 176,7 m. × 1″. Tiro indirecto.											
1000	10° 26′	11° 45′	0,2080	6,31	147,8	4,74	0,18	15,0	0,76	2,80	7,32	35,2
1500	17° 23′	20° 35′	0,3755	10,22	137,0	4,07	0,15	12,9	0,68	4,61	19,88	52,9
1645	20°	23° 45′	0,4400	11,58	133,4	3,87	0,14	12,2	0,65	5,53	»	59,1
	Carga: 0,10 kg. de pólvora de 2 ½ mm. (1869), ó 0,135 kg. de pólvora de 6/10 mm. (2/7 de la máxima). Velocidad inicial: 102 m. × 1″. Tiro indirecto.											
180	5°	5° 4′	0,0887	1,80	98,7	2,11	0,08	6,7	0,41	0,45	0,92	10,4
350	10°	10° 24′	0,1835	3,57	95,9	2,00	0,07	6,3	0,39	0,89	3,37	18,4
495	15°	15° 46′	0,2823	5,28	93,4	1,89	0,07	6,0	0,37	1,33	6,50	23,0
640	20°	21° 17′	0,3696	7,10	91,2	1,81	0,07	5,7	0,35	1,76	12,43	33,7

DATOS *sobre el tiro del cañón de bronce, rayado, de 7 cm., de avancarga, con proyectil de 2,405 kg. de peso.*

Distancias. — Metros.	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria. — Segundos.	Velocidad remanente tangencial. — m × 1″	Energía del proyectil Total. — Tonelámetros	Energía del proyectil por cm. de circunferencia. — Tonelámetros	Energía del proyectil por cm.³ de la esfera de igual diámetro. — Kilográmetrs	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido lateral. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido vertical. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido longitudinal. — Metros.
	Carga: 0,2 kg. de pólvora de 2 1/2 mm. (1869). Velocidad inicial: 210 m. × 1″.											
500	3° 14′	4° 3′	0,0708	2,55	186,6	4,29	0,185	20,6	0,78			
1000	7° 27′	8° 57′	0,1574	5,44	166,0	3,38	0,146	16,2	0,67			
1500	12° 46′	16° 6′	0,2885	9,01	150,1	2,76	0,119	13,2	0,58			
2000	19° 23′	25° 28′	0,4763	13,60	137,5	2,33	0,101	11,2	0,52			

DATOS *sobre el tiro del mortero liso cónico de 32 cm., disparando la bomba cargada con 3,68 kg. de pólvora; su peso total, 78,01 kg.*

Carga de proyección. — *Kilógramos.*	Velocidad inicial correspondiente. — $m \times 1''$	Alcances. — *Metros.*	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Flecha ú ordenada máxima de la trayectoria. — *Metros.*	Tiempos ó duración de la trayectoría. — *Segundos.*	Velocidad remanente tangencial. — $m \times 1''$	Energía total del proyectil. — *Tonslámetros.*	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido lateral. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido longitudinal — *Metros.*
		Ángulo de proyección constante: 45°.									
0,804	71,4	500	46° 10′	1,0416	127,4	10,6	68,4	18,6	0,28	14	48
1,351	103,5	1000	47° 19′	1,0843	260,1	14,5	95,0	36,0	0,49	30	90
2,095	126,8	1500	48° 30′	1,1303	397,5	18,0	112,4	50,3	0,64	38	136
3,120	152,5	2000	49° 40′	1,1777	541,6	21,0	128,6	65,8	0,80	48	180
4,495	175,5	2500	50° 51′	1,2276	691	23,7	142,0	80,3	0,92	58	228
5,460	189,0	2800	51° 33′	1,2595	785	25,3	148,8	88,2	0,98	63,5	265
		Ángulo de proyección constante: 60°.									
0,804	71,4	434	61° 1′	1,8053	192	12,4	69,4	19,2	0,28	17,1	42,7
1,351	103,5	857	61° 57′	1,8768	387	17,7	96,3	37,0	0,50	36,7	94,0
2,095	126,8	1226	62° 46′	1,9430	611	21,4	113,9	51,7	0,66	46,5	122,5
3,120	152,5	1700	63° 50′	2,0353	798	25,5	132,7	70,0	0,83	58,3	159,6
4,495	175,5	2133	64° 46′	2,1219	1021	28,9	146,5	85,3	0,96	71,0	201,7
5,460	189,0	2387	65° 19′	2,1759	1157	30,7	153,8	94,2	1,03	77,7	230,8
		Ángulo de proyección constante: 75°.									
5,460	189,0	1390	77° 36′	4,5487	1428	34,2	157,9	99,4	1,06	86,8	153,8
		Ángulo de proyección constante: 80°.									
5,460	189,0	1008	81° 41′	6,8417	1570	36,4	160,6	102,9	1,09	88,8	123,3

Datos *sobre el tiro del mortero liso cónico de 27 cm., disparando la bomba cargada con 1,84 kg. de pólvora; su peso total, 51,37 kg.*

Carga de proyección. — *Kilógramos.*	Velocidad inicial correspondiente. — *m × 1″*	Alcances. — *Metros.*	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Flecha ú ordenada máxima de la trayectoria. — *Metros.*	Tiempos ó duración de la trayectoria. — *Segundos.*	Velocidad remanente tangencial. — *m × 1″*	Energía total del proyectil. — *Tonelámetros.*	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido lateral. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido longitudinal — *Metros.*
		Angulo de proyección constante: 10°.									
0,402	67,5	152	10° 11′	0,1796	6,7	2,3	65,7	11,3	0,24	2,4	25,6
1,346	123,5	500	10° 33′	0,1862	22,5	4,3	113,0	33,5	0,60	8,2	59,9
2,880	180,5	1000	11° 9′	0,1971	46,0	6,1	151,0	59,9	0,92	17,5	130,5
3,450	197,5	1172	11° 22′	0,2010	53,9	6,7	160,5	67,8	1,02	21,0	136,7
		Angulo de proyección constante: 20°.									
0,402	67,5	335	31° 9′	0,6044	56,8	6,8	63,4	10,5	0,22	7,1	56,0
0,533	77,6	500	31° 31′	0,6132	74	7,8	71,8	13,5	0,23	9,3	64,5
1,138	113,4	1000	33° 6′	0,6519	153	11,2	96,8	24,6	0,47	19,9	95,3
1,824	143,7	1500	34° 42′	0,6924	237	13,8	113,7	33,9	0,61	32,0	122,6
2,620	172,0	2000	36° 20′	0,7355	327	16,2	123,0	39,8	0,69	45,9	148,7
3,450	197,5	2445	37° 50′	0,7766	409	18,0	135,6	48,3	0,79	60,5	173,4
		Angulo de proyección constante: 45°.									
0,402	67,5	436	46° 37′	1,0531	112	9,5	63,6	10,6	0,22	10,0	64,1
0,465	72,5	500	46° 51′	1,0663	129	10,2	67,8	12,0	0,25	11,5	63,9
0,985	105,4	1000	48° 44′	1,1397	266	14,7	91,9	22,2	0,43	24,3	100,1
1,620	135,4	1500	50° 37′	1,2182	413	18,3	110,4	32,0	0,58	40,2	128,6
2,350	163,0	2000	52° 29′	1,3024	570	21,5	123,9	40,3	0,69	58,2	154,9
3,200	190,0	2500	54° 20′	1,3934	732	24,4	135,2	43,0	0,79	79,1	180,5
3,450	197,5	2638	54° 52′	1,4211	782	25,2	137,8	49,9	0,81	85,5	187,6
		Angulo de proyección constante: 60°.									
0,402	67,5	378	61° 23′	1,8329	168	11,7	64,2	10,8	0,23	12,2	56,0
0,550	78,9	500	61° 49′	1,8663	225	13,5	75,2	14,8	0,30	16,7	65,6
1,200	116,6	1000	63° 36′	2,0145	467	19,5	101,5	27,0	0,50	36,5	98,2
1,990	150,0	1500	65° 21′	2,1792	728	24,3	122,1	39,2	0,68	60,4	128,2
2,940	182,4	2000	67° 5′	2,3341	1011	28,7	136,0	48,6	0,80	89,3	158,7
3,450	197,5	2232	67° 52′	2,4587	1143	30,4	144,2	54,6	0,87	104,7	173,4
		Angulo de proyección constante: 75°.									
3,450	197,5	1295	78° 50′	5,0664	1402	33,7	149,4	58,7	0,91	117,0	140,6

DATOS *sobre el tiro del mortero liso cónico de 16 cm., disparando la granada cargada con 0,46 kg. de pólvora; su peso total, 11,64 kg.*

Carga de proyección. — *Kilógramos.*	Velocidad inicial correspondiente. — $m \times 1''$	Alcances. — *Metros.*	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Flecha ú ordenada máxima de la trayectoria. — *Metros.*	Tiempos ó duración de la trayectoria. — *Segundos.*	Velocidad remanente tangencial. — $m \times 1''$	Energía total del proyectil. — *Toneládmetros.*	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido lateral. — *Metros.*	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido longitudinal. — *Metros.*
		Ángulo de proyección constante: 10°.									
0,068	46,2	72	10° 15′	0,1808	3,2	1,63	44,5	1,176	0,071	2,1	16,9
0,098	55,4	154	10° 31′	0,1856	6,9	2,39	51,0	1,544	0,092	3,1	22,2
0,140	71,2	246	10° 50′	0,1914	11,2	3,04	62,4	2,312	0,134	5,1	33,4
		Ángulo de proyección constante: 20°.									
0,068	46,2	133	20° 46′	0,3792	12,4	3,20	43,1	1,103	0,066	4,2	25,5
0,098	55,4	275	21° 42′	0,3930	26,2	4,66	48,0	1,368	0,081	6,1	31,5
0,140	71,2	430	22° 49′	0,4207	42,2	5,89	57,2	1,942	0,112	10,0	42,9
		Ángulo de proyección constante: 30°.									
0,068	46,2	176	31° 37′	0,6156	26,3	4,63	42,4	1,068	0,064	6,2	31,8
0,098	55,4	360	33° 24′	0,6594	55,4	6,72	46,6	1,289	0,078	8,9	38,5
0,140	71,2	550	35° 15′	0,7067	88,0	8,42	55,0	1,796	0,106	14,7	50,3
		Ángulo de proyección constante: 45°.									
0,068	46,2	200	47° 15′	1,0818	52	6,51	42,6	1,077	0,064	8,7	36,0
0,098	55,4	400	49° 33′	1,1729	108	9,39	46,9	1,306	0,080	12,5	43,4
0,140	71,2	600	52° 2′	1,2814	170	11,74	55,1	1,803	0,106	20,7	55,6

EMPLEO DE LAS PIEZAS DE AVANCARGA EN LOS ARTILLADOS DE LAS PLAZAS. De los datos anteriores, y de lo expuesto en el capítulo IV, es fácil deducir el uso que puede hacerse de las piezas cargadas por la boca, en los tanteos de armamento.

Desde luego, no habiendo entre las piezas rayadas verdaderos obuses (39), hay que substituir éstos por los cañones. En general puede hacerse la substitución (no equivalencia) siguiente:

C. Bc. 15. . . .	C. B. R. 16, con preferencia
O. Bc. 21. . . .	C. H. R. S. 16 lg. y cr., aunque éstos parecen más propios para las baterías de costa.
C. Bc. 12. . . .	C. B. R. 12 lg.
O. Bc. 15. . . .	C. B. R. 12 cr.
C. Ac. ó Bc. 9..	C. B. R. 12 cr.
C. Ac. ó Bc. 8..	C. B. R. 8 lg.
C. Ac. 8 cr. . .	C. B. R. 8 cr. » C. B. R. 7.
M. Bc. 21. . . .	M. Co. 32.
M. Bc. 15. . . .	M. Co. 27.
M. Bc. 9.. . . .	M. Co. 16.

Claro está que se suplen las piezas con otras inferiores en cualidades balísticas, pero esto es irremediable.

Los cañones y obuses lisos no deben destinarse á disparar bala sólida, ni granada esférica, por lo menos en principio, y es preferible dotarlos exclusivamente con botes de metralla y colocarlos en los flancos de los baluartes de las plazas antiguas, para flanquear los fosos, y también en los ángulos flanqueados, pero solo como armamento de seguridad para rechazar un ataque á viva fuerza.

Tratándose de artillados provisionales, claro es que habrá que utilizar los montajes existentes, sean los que fueren; pero siempre que sea posible elegir, se deberá preferir los móviles (de sitio ó de campaña) á los fijos (de plaza y casamata ó de costa), por las razones expuestas en el capítulo IV (páginas 114 á 116).

Hay ciertas plazas y puntos fortificados que solo se ocupan para

(39) Prescindimos del obús de 21 cm. H. R. S., por ser pieza más propiamente de costa. Véase *Apuntes sobre defensa de las costas*, página 46 y siguientes.

prevenir un golpe de mano, ataque por sorpresa, ó asalto á viva fuerza, sin pretender que resistan á un sitio regular. En tal caso, pueden bastar las piezas descritas en este capítulo, sin recurrir á otras más modernas, que harán falta en otras partes, y lo mismo sucede en aquellos puntos fuertes que sólo están expuestos á ser atacados por infantería apoyada á lo más por escasa y mala artillería (como las plazas de África y los puntos que se han fortificado durante nuestras guerras civiles).

En las plazas de primer órden y en las pequeñas de mucha importancia, debe procurarse que haya un núcleo, por lo menos de la mitad del total, constituído por piezas modernas, pero el resto podrá seguir formado, con el carácter de artillado provisional, por piezas de avancarga. En las fortalezas que tienen fuertes destacados, deben colocarse las mejores piezas en éstos y reservar las antiguas para el recinto (40).

(40) Un ejemplo de la economía que aquí nos permitimos aconsejar, nos lo dá Francia, que á pesar de haber fabricado á millares las piezas De Bange, desde 1877 en que se adoptaron los primeros modelos, conserva en servicio los cañones La Hitte de 1859 y los morteros lisos, y con ellos arma, no sólo las plazas de Argelia, sino también muchas del interior, exceptuando tan solo los fuertes destacados y barreras de la frontera con Alemania.

CAPÍTULO SEXTO.

AMETRALLADORAS Y CAÑONES DE TIRO RÁPIDO.

Ya hemos dicho la razón por qué no hemos incluído las ametralladoras y cañones de tiro rápido entre las piezas *normales* de plaza, cuyos datos se han dado en el capítulo I.

Hay, sin embargo, una ametralladora reglamentaria, que fué adoptada en 1871, al mismo tiempo que el fusil Remington, disponiéndola entonces para el servicio de campaña. Es del sistema Christophe-Montigny, y sus datos principales son los siguientes:

Número de cañones.	37
Calibre.	11 mm.
Diámetro exterior.	150 mm.
Longitud del arma..	1345 mm. sin contar con la palanca.
Idem..	1855 mm. con la palanca levantada
Depresión del eje de muñones. . .	100 mm.
Distancia del eje de muñones á la boca	580 mm.
Peso del arma.	225 kg.
Cartucho.	el metálico de fusil, modelo 1871, con las mismas condiciones balísticas de éste.

La cureña de campaña que se adoptó en 1871, era de madera, arreglada de las de modelo 1830 ó 1861:

Altura del eje de muñones.	920 mm.
Diámetro de las ruedas.	1100 mm.
Carril.	1423 mm.
Longitud total (pieza y cureña).	2665 mm.
Peso..	285 kg.
Campo de tiro vertical.	+ 27° / — 7°
Campo de tiro horizontal..	7° (sin mover la cureña).

Esta cureña se ha reformado para adaptarla al flanqueo de fosos en casamata ó parapeto con cañoneras. Para ello se le han quitado las ruedas y se la ha provisto de un perno, que se fija debajo de la cañonera, en el talud ó paramanto interior. Las dimensiones son:

Altura del eje de muñones.	960 mm.
Distancia del pinzote al eje de muñones.	320 mm.
Distancia del pinzote á la boca.	260 mm.
Distancia del pinzote á la contera de la cureña.	2500 mm.
Campo de tiro vertical.	+ 11°. / — 7°.
Campo de tiro horizontal..	54° ó sea ± 27°.

Las dimensiones de la cañonera necesaria para aprovechar todo el campo de tiro horizontal y vertical, son:

En el paramento interior.	170 mm. ancho por 250 mm. alto.
En el exterior, muro de 1 metro de espesor	1180 mm. ancho por 570 mm. alto.
En el exterior, muro de 2 metros de espesor..	2020 mm. ancho por 890 mm. alto.

Pero no hace falta en el flanqueo de fosos aprovechar todo el campo de tiro que permite el montaje; especialmente el horizontal, puede reducirse sin inconveniente á 5° ó 7°.

La rapidez de tiro ordinaria es 5 descargas por minuto (185 disparos); la máxima se supone que es de 12 descargas.

Un inconveniente de esta ametralladora es lo muy concentrados que resultan los proyectiles en el blanco. A 450 metros la máxima dispersión de una descarga es de 77 centímetros; á 720 metros de $1^m,27$.

Deben aprovecharse las ametralladoras Montigny que existen, en el flanqueo de fosos, pero no es arma que convenga volver á fabricar, pues sus condiciones no responden á las actuales necesidades.

Ametralladoras de otros sistemas.—Damos á continuación los datos de los sistemas que se tienen por mejores, y prescindimos de otros muchos, Claxton, Palmer, Lowell, Mannlicher, Pratt & Whitney, Palmcrantz, Albertini, por ser variantes sin importancia, así como de la proyectada por D. Acacio Fernández, que se construye en Placencia de las Armas, por que no la conocemos.

Sistemas de las ametralladoras.	Número de cañones.	Calibre. — milím.	Longitud total del cañón — milím.	Peso del arma. — kilógramos	Clase de montaje.	Peso de la cureña — kilógramos	Condiciones del tiro. Carga de polvora. — gramos.	Peso del proyectil. — gramos.	Velocidad inicial. — m. × 1''	Número de tiros por minuto.
Gatling.....	10	11	838	201	Cureña de campaña.....	181	5	31	384	400
	8	11	838	160	Cureña de campaña.....	160	5	24	416	200
	6	11		73	Trípode ó campaña.....		5	24	416	
Gardner....	1	11	762	33	Trípode.....	27	5	31	384	200
	2	11	762	57	Trípode.....	27	5	31	384	400
Nordenfelt...	12	11	685	113	Cureña de campaña.....	107	5	25	420	1200
	10	11	685	107	Cureña de campaña.....	107	5	25	420	1050
	7	11	685	82	Trípode.....	39	5	25	420	800
	5	11	685	58	Trípode.....	39	5	25	420	700
	3	11	685	25	Trípode.....	24	5	25	420	440
	2	11	685	20	Trípode.....	20	5	25	420	280
Maxim.....	1	8			De parapeto....					600
	1	11		27	Trípode.....	34	5	25	420	600

No hay que dar importancia al calibre y á las condiciones del tiro, pues los constructores adaptan á su sistema los cañones del mismo calibre y trazado de los fusiles reglamentarios, para que puedan disparar los mismos cartuchos que éstos.

El montaje de trípode, muy ligero y manejable, tiene el inconveniente de ser bajo para el servicio de plaza, por no poder tirar por encima del parapeto en las banquetas de infantería. Para este objeto el llamado *de parapeto* (affût de rempart) que presentó la casa Maxim-Nordenfelt en la exposición de Paris en 1889 (41), reune muy buenas condiciones por su poco peso, fácil transporte, instalación pronta detrás de un parapeto cualquiera, y rapidez en retirar el arma para ponerla al abrigo.

La ametralladora automática Maxim tiene muchos partidarios y ha sido adoptada en Austria é Inglaterra, pero también se le achacan inconvenientes que no dejan de tener importancia, por lo complicado de su mecanismo, el excesivo número de resortes que contiene y la facilidad con que se descompone. Aunque algunos de estos defectos tengan menos valor en el servicio de plaza que en el de campaña, está muy admitido que los verdaderos tipos de ametralladora de plaza, son las de 3 y 5 cañones de Nordenfelt.

Insistimos, sin embargo, en creer que de ordinario, salvo casos especiales, es preferible para la defensa de las plazas el *cañón de tiro rápido* á la ametralladora.

Los constructores han atendido con cuidado preferente al servicio de los cañones rápidos en la marina y defensa de costas; sus tipos mejor estudiados, los afustes más perfectos, están destinados para las armas de gran potencia. Algunos, como Krupp y la Sociedad *Forges et Chantiers de la Mediterranée*, casi puede decirse que no construyen más que cañones de marina.

En el servicio de plaza es innecesario que el proyectil adquiera velocidades iniciales fuertes y también lo es que el calibre exceda de 6 cm. De los cuadros de datos que siguen, hemos excluído todas las piezas que dan una velocidad de más de 600 m. $\times$ 1″ y las que no están comprendidas entre $4\,^1/_2$ y 6 cm. de calibre.

(41) Véase la obra *L'Artillerie à l'Exposition de 1889*, par P. Veyrines, capitaine d'artillerie.—Paris (Berger-Levrault), 1890, página 218 y lámina XXVI, figuras 50 y 51.

		Nordenfelt.				Grusonwerk.					Daudeteau et Darmancier	Engström.
		57 mm. Modelo I.	57 mm. Modelo II.	57 mm. de caponera.	47 mm.	57 mm. L/30.	57 mm. L/25.	53 mm. L/30.	53 mm. L/24.	47 mm. L/30.	47 mm. ligero.	57 mm. ligero.
Pieza	Calibre. . . . . mm.	57	57	57	47	57	57	53	53	47	47	57
	Longitud del ánima. . . . . mm.	2413	2413	1320	2133	1520	1272	1433	1120	1265		
	Longitud total.. . mm.	2805	2805	1503	2323	1710	1460	1615	1302	1410		1495
	Número de rayas. . . .	24	24	24	20	24	24	24	24	24		24
	Paso final de las rayas.					30	30	30	30	30		
	Peso . . . . . kg.	299	343	193	234	215	180	170	142	120		200
Carga de proyección. . . . . kg.		0,879	0,879	0,567	0,680	0,245	0,230	0,130	0,130	0,130		0,600
Peso del cartucho completo. kg.		4,717	4,717	3,930	2,95	3,675	3,675	2,496	2,496	2,00		4,30
Granada	Longitud. . . . . mm.	210	210	210	164	205	205	157	157	153	212	
	Carga explosiva. . kg.	0,091	0,091	0,065	0,042	0,090	0,090	0,100	0,100	0,057	0,35	0,100
	Peso total. . . . . kg.	2,72	2,72	2,72	1,5	2,72	2,72	1,75	1,75	1,50	1,49	2,75
Shrapnel	Longitud. . . . . mm.	208	208	208	164	205	205	157	157	»		
	Carga explosiva. . kg.	0,039	0,039	0,039	0,019	0,035	0,035	0,030	0,030	»		0,080
	Peso total. . . . . kg.	2,72	2,72	2,72	1,5	2,72	2,72	1,75	1,75	»	1,49	2,80
	Número de balines.. . .	70	70	70	42	64	64	56	56	»	35	104
	Peso de un balín.. g.	15	15	15	12	11 á 16	11 á 16	8 á 11	8 á 11	»	18	
Bote de metralla	Peso total. . . . . kg.	3,583	3,583	3,712	1,82	3,80	3,38	2,10	2,10	1,90		
	Número de balines.. . .	139	139	196	108	240	140	78	78	94		
	Peso de un balín.. g.	16	16	11 á 17	12,5	9 á 15,5	19 á 24	19	19	14,5		
Velocidad inicial.. . . . m. × 1″		570	570	440	585	515	480	505	495	515	500	450

		Hotchkiss (*).						Krupp (**).	
		57 mm. T. R. lig.	47 mm. T. R. lig.	53 mm. Revolver.	47 mm. Revolver.	40 mm. Revolver de flanqueo.	37 mm. Revolver.	6 cm. L/38.	6 cm. L/30.
Pieza	Calibre. . . . . mm.	57	47	53	47	40	37	60	60
	Longitud del ánima. . . . . mm.	1710	1175	1431	1175	1277	740	2120	1650
	Longitud total. . . mm.	1895	1325	2140	1730	1790	1180	2300	1800
	Número de rayas.	24	20						
	Paso final de las rayas. .								
	Peso. . . . . kg.	235	95	1000	575	528	225	300	215
Carga de proyección.. . . . . kg.		0,680	0,200	0,410	0,200	0,090	0,080	1,0	0,7
Peso del cartucho completo.. kg.		4,030	1,505	2,345	1,505	1,100	0,625		
Granada	Longitud.. . . . . mm.	215	127	159	127	»	93		
	Carga explosiva.. . kg.	0,085	0,045	0,070	0,045	»	0,022		
	Peso total. . . . . kg.	2,72	1,075	1,630	1,075	»	0,455	3,00	3,00
Shrapnel	Longitud.. . . . . mm.	203	»	»	»	»	»		
	Carga explosiva.. . kg.	0,040	»	»	»	»	»		
	Peso total. . . . . kg.	2,72	»	»	»	»	»		
	Número de balines. . . .		»	»	»	»	»		
	Peso de un balín. . gr.		»	»	»	»	»		
Bote de metralla	Peso total. . . . . kg.	2,92	1,115	1,900	1,115	0,850	0,570		
	Número de balines. . . .	105	50			24			
	Peso de un balín.. . gr.					32			
Velocidad inicial. . . . . m. × 1″		425	425	425	425	»	402	575	485

(*) Incluimos los *cañones revolvers* sólo á título de noticia, pues hoy puede decirse que están substituídos por los simples de tiro rápido.
(**) Los dos cañones Krupp de 6 cm. no son propiamente de tiro rápido, sino *de campaña con cartucho metálico*. Hay un cañón de caponera de 7 ½ cm., que no hemos incluído por estar fuera de los límites fijados.

Las casas constructoras tienen muchos más modelos y además éstos varían con frecuencia, haciéndoles sufrir reformas ventajosas, de modo que los datos consignados en los cuadros anteriores no tienen una fijeza invariable.

El calibre de 57 mm. reune muy buenas condiciones para el servicio de plaza y los modelos Nordenfelt, que se construyen en la fábrica de Placencia, perteneciente á la Sociedad *The Maxim-Nordenfelt Guns and Ammunition Company*, y bajo la dirección de entendidos oficiales de artillería del ejército y de la marina, pueden casi considerarse como reglamentarios, pues se han hecho ya varias adquisiciones. Los modelos I y II son muy propios para el servicio de plaza (41) y también lo es el llamado de caponera. Los dos primeros tienen exactamente el mismo trazado interior, disparan el mismo cartucho y tienen idénticas condiciones balísticas. De los montajes, los más apropiados son los siguientes:

1.° Cureña de campaña. Cañón modelo I.	Altura del eje de muñones. .	1080	mm.
	Diámetro de las ruedas. . . .	1328	mm.
	Sobresale la boca de la tangente anterior á las ruedas.	1223	mm.
	Distancia del punto de apoyo de las ruedas al de la contera.	1520	mm.
	Peso de la cureña	560	kg.
	Retroceso.	0,6 á 0,9	m.
2.° Afuste de cañonera con retroceso y freno hidráulico (modelo *B*). Cañón modelo II.	Altura del eje de muñones. .	1256	mm.
	Distancia del eje de muñones al paramento interior del muro.	120	mm. (dentro de la cañonera).
	Peso del afuste.	266,6	kg.
	Id. del cojinete de bronce. . .	54,4	kg.
	Id. del semicono.	101,6	kg.

(41) La descripción detallada de estos modelos puede verse en un artículo del capitán D. Juan Ugarte: *Cañones de tiro rápido de 6 libras, sistema Nordenfelt.* (*Memorial de Artillería.*—Serie III, tomo XXII, páginas 83 y 129, con 7 láminas, 6.ª á 12.ª, cuadernos de Julio y Agosto de 1890.)

3.º Afuste de cañonera sin retroceso. Cañón de caponera.	Altura del eje de muñones. .	1220	mm.
	Distancia del eje de muñones al paramento interior del muro.	176	mm. (fuera de la cañonera).
	Peso del afuste.	820	kg.
	Campo de tiro vertical. . . .	+ 10º — 2º	
4.º Torre de de eclipse (42). Cañón de caponera.	Diámetro interior de la torre.	1,73	m.
	Espesor del blindaje de acero de la cubierta.	120	mm.
	Id. de la coraza de acero, lateral..	80	mm.
	Altura en el interior de la torre..	1,80	m.
	Id. del eje de la pieza (horizontal) sobre la cresta del parapeto.	150	mm.
	Campo de tiro vertical. . . .	+ 15º — 6º	
	Id. de tiro horizontal.	360º	
	Diámetro de la abertura del pozo..	1,94	m.
	Id. de la parte inferior.. . . .	3,00	m.
	Profundidad del pozo.	7,20	m.
	Amplitud del movimiento vertical de eclipse..	0,36	m.

Los afustes de cono y perno fijo con escudo, muy buenos para marina y defensa de costas, no lo son para el servicio de plaza, por la movilidad que imponen á la pieza.

Á continuación presentamos los datos sobre el tiro de los cañones

(42) Esta torre es de modelo de la casa Maxim-Nordenfelt, pero en los fuertes del Mosa (Bélgica) se monta el mismo cañón Nordenfelt de 57 mm., en una torre del Grusonwerk. En la Exposición naval de Londres de 1891, la misma casa presentó una *torre hidrostática de eclipse* para cañón automático de 6 libras, sistema Maxim (análogo á la ametralladora). Véase *Engineering* ó *Rivista d'Artiglieria e Genio*, 1892. I. 98.—Véase para el cañón automático Veyrines (loc. cit.), página 222.

Nordenfelt de 57 mm., *de plaza*, disparando granada ordinaria ó shrapnel (43). El tiro de metralla del cañón de caponera dá un cono de dispersión de 14° de abertura.

---

(43) Las tablas de tiro que dá *la casa*, y que han sido reproducidas por el Sr. Ugarte (loc. cit). presentan las distancias en yardas. Hemos preferido calcularlas de nuevo (considerando aquellas como datos de experiencia) con todas las medidas métricas. Los datos de precisión que faltaban están deducidos de los de experiencia del cañón Gruson del mismo calibre, por el método ya indicado en la nota (38) de las páginas 140 y 141.

DATOS *sobre el tiro de los cañones Nordenfelt, de tiro rápido, de 57 mm., modelos I y II, y de caponera, con proyectil de 2,72 kg. de peso.*

Distancias — Metros.	Ángulos de elevación.	Ángulos de caída en grados.	Ángulos de caída por sus tangentes.	Tiempos ó duración de la trayectoria — Segundos.	Velocidad remanente tangencial. — m × 1″	Energía del proyectil Total. — Tonelámetros	Energía del proyectil por cm. de circunferencia. — Tonelámetros	Energía del proyectil por cm.² de la esfera de igual diámetro. — Kilográmetrs	Factor de penetración.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido lateral. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido vertical. — Metros.	Zonas del 50 por 100 de los disparos en sentido longitudinal. — Metros.
	Modelos I y II. Carga: 0,879 kg. de pólvora exagonal 0,45. Velocidad inicial: 570 m. × 1″.											
500	0° 24′	0° 34′	0,0098	0,96	476,3	31,47	1,75	324	3,77	0,16	0,23	23,3
1000	1° 7′	1° 25′	0,0248	2,12	399,8	22,18	1,24	229	3,29	0,45	0,59	23,6
1500	1° 55′	2° 41′	0,0468	3,46	344,9	16,50	0,92	170	2,91	0,78	1,12	24,1
2000	2° 55′	4° 22′	0,0762	5,00	309,4	13,28	0,74	137	2,63	1,18	1,91	25,0
2500	4° 6′	6° 24′	0,1120	6,72	284,7	11,25	0,63	116	2,43	1,67	2,98	26,6
3000	5° 29′	8° 50′	0,1552	8,83	263,5	9,64	0,54	100	2,24	2,23	4,49	29,0
3500	7° 6′	11° 42′	0,2069	10,63	245,5	8,36	0,47	86	2,08	2,88	6,66	32,2
4000	8° 57′	15° 6′	0,2699	12,78	229,9	7,33	0,41	76	1,94	3,62	9,75	36,3
4700	12°	20° 48′	0,3797	16,27	211,8	6,22	0,35	64	1,66	4,84	16,6	43,6
	Cañón de caponera. Carga: 0,567 kg. de pólvora R. L. G.² Velocidad inicial: 440 m. × 1″.											
500	0° 49′	0° 55′	0,0161	0,88	372,2	19,21	1,07	198	3,11	0,20	0,23	14,0
1000	1° 50′	2° 15′	0,0391	2,65	326,7	14,81	0,83	153	2,77	0,44	0,56	14,3
1500	3° 3′	3° 56′	0,0688	4,28	297,5	12,27	0,68	127	2,54	0,74	1,08	15,8
2000	4° 28′	6° 1′	0,1052	6,04	274,3	10,43	0,58	108	2,34	1,08	1,87	17,7
2500	6° 9′	8° 31′	0,1495	7,99	254,0	8,95	0,50	92	2,16	1,49	3,06	20,5
3000	9° 34′	11° 59′	0,2120	10,41	236,7	7,77	0,43	80	2,00	2,07	5,38	25,4
3485	10°	14° 57′	0,2668	12,31	222,2	6,85	0,38	71	1,87	2,41	7,46	28,0
4440	15°	23° 33′	0,4357	17,43	201,0	5,60	0,31	58	1,66	3,59	16,6	38,1

A pesar de que los cañones Nordenfelt de tiro rápido tienen la ventaja de ser fabricados en España, no puede desconocerse que los de Gruson, proyectados especialmente para su empleo en la fortificación, satisfacen muy cumplidamente á todas las condiciones necesarias para este servicio, y tienen además la propiedad de que su aparato de cierre es muy sencillo, sólido y en él se han reducido al mínimo los muelles. Por esta razón, y porque también se han adquirido algunos ejemplares, creemos útil dar una breve reseña de los montajes de plaza que corresponden á cada uno de los modelos mencionados en la página 160.

			57 mm. L/30	57 mm. L/25	53 mm. L/30	53 mm. L/24	47 mm. L/30
Cureña de campaña	Peso de la cureña	kg.	515	»	500	»	470
	Campo de tiro vertical		+ 15°	»	+ 15°	»	+ 15°
			— 10°	»	— 14°	»	— 10°
	Campo de tiro horizontal		15°	»	15°	»	15°
	Altura del eje de muñones	mm.	1200	»	1150	»	1200
	Carril	mm.	1500	»	1500	»	1500
	Diámetro de las ruedas	mm.	1400	»	1400	»	1400
Afuste de candelero para casamata	Peso del afuste	kg.	375	750	»	»	350
	Campo de tiro vertical		+ 15°	+ 15°	»	»	+ 15°
			— 10°	— 10°	»	»	— 10°
	Campo de tiro horizontal		30°	30°	»	»	30°
	Altura del eje de muñones	mm.	1200	1300	»	»	1200
Afuste de cañonera con blinda esférica	Peso del afuste	kg.	»	»	»	250	»
	Peso de la coraza de cañonera	kg.	»	»	»	1200	»
	Campo de tiro vertical		»	»	»	+ 20°	»
			»	»	»	— 15°	»
	Campo de tiro horizontal		»	»	»	40°	»
Afuste acorazado móvil	Peso del afuste acorazado	kg.	»	2300	»	2400	»
	Peso del carruaje	kg.	»	600	»	700	»
	Campo de tiro vertical		»	+ 10°	»	+ 10°	»
			»	— 5°	»	— 5°	»
	Campo de tiro horizontal		»	360°	»	360°	»
Afuste acorazado (torre) de eclipse	Peso total	kg.	»	14700	»	12500	»
	Campo de tiro vertical		»	+ 16°	»	+ 10°	»
			»	— 15°	»	— 5°	»
	Campo de tiro horizontal		»	360°	»	360°	»

Los modelos de montajes de los cañones Hotchkiss son muy semejantes á los que corresponden á los de Nordenfelt.

Hay también una torre eclipse Mougin para dos cañones de tiro rápido Daudeteau et Darmancier, de 47 mm. ligeros, construída por la fábrica de Saint-Chamond (Compagnie des Hauts-Fourneaux, Forges et Aciéries de la Marine et des Chemins de Fer).

FIN.

ÍNDICE.

Página.

CAPÍTULO CUARTO.

CAPÍTULO QUINTO.

CAPÍTULO SEXTO.

Página.

LOS MATERIALES HIDRÁULICOS.

LOS MATERIALES HIDRÁULICOS.

CLASIFICACIÓN, PROPIEDADES, ANÁLISIS Y ENSAYOS,

POR

EL TENIENTE CORONEL,

COMANDANTE DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO,

DON MANUEL CANO Y DE LEÓN,

C. DE LA REAL ACADEMIA DE CIENCIAS DE LA HABANA.

MADRID.

IMPRENTA DEL MEMORIAL DE INGENIEROS.

1892.

Las múltiples y variadas aplicaciones que en la construcción moderna tienen los materiales que genéricamente pueden comprenderse bajo la denominación de *productos hidráulicos*, han hecho que la industria que los fabrica haya adquirido de pocos años á esta parte tan considerable desarrollo, que resulta una producción anual verdaderamente fabulosa. Sin necesidad de acudir á estadísticas lejanas para demostrar la marcha progresiva de aquel desarrollo, y limitándonos al cemento Portland, apuntaremos el dato curioso de que de este producto, que apenas se conocía el año 1850, se han llegado á fabricar en el pasado año de 1891, solamente en Europa, más de cuatro millones de toneladas, de las que han correspondido próximamente tres millones, por partes iguales, á Inglaterra y Alemania, cerca de cuatrocientas mil á Francia, unas doscientas mil á Rusia, igual cifra á Bélgica y alrededor de ciento cincuenta mil á Dinamarca, Suecia y Noruega.

Todos los demás materiales hidráulicos han seguido asimismo una marcha ascendente que, aunque no tan rápida, no es menos importante, y algunos de ellos, como son los cementos de granzas, los mixtos y los de escorias de altos hornos, apenas han aparecido en los mercados ya figuran en las estadísticas las fábricas productoras ocupando un lugar bastante halagüeño para que se las pueda considerar con un porvenir asegurado.

Tan elevado consumo, tratándose de materiales más delicados de lo que generalmente se cree, aun entre las personas que por razón de su profesión deben conocerlos, permite dar

salida fácilmente á productos muy medianos, unas veces abusando de marcas acreditadas, otras valiéndose de pomposos anuncios y ofertas que no se pueden cumplir, escudado el que los propone con la esperanza de que no se han de comprobar sus dichos por las dificultades que presentan los prolijos ensayos y experiencias á que hay que someter esta clase de materiales, si se han de conocer sus propiedades en plazo breve.

En España más que en ninguna parte somos víctimas de esta mala fé, ó por lo menos, del afán del lucro que representa. El estado precario del Tesoro no ha permitido aún montar laboratorios centrales de ensayo de materiales, por más que un día y otro los venimos reclamando todos los que estamos obligados á dirigir construcciones, cargando, al hacerlo, con las responsabilidades moral y material que resultar pueden al aceptar como bueno todo aquello que por su aspecto exterior nos lo parece, pero sin disponer de los medios de comprobación que son indispensables para juzgar con acierto.

Es nuestra opinión tan decidida en este asunto y consideramos de tal urgencia el poner remedio á los males que lamentamos, que al hacernos cargo, hace algo más de dos años, de la dirección de la obra del nuevo Hospital militar que se construye en Madrid, pusimos empeño en buscar la manera de que en ella se hiciese lo que es común y corriente en todas las obras grandes del extranjero, sacando de su presupuesto mismo los recursos necesarios para instalar un gabinete de ensayos en donde pudieran someterse á pruebas prévias los materiales que se hubiesen de emplear. La partida de gastos imprevistos creimos que nos podía dar la solución, y con anuencia de nuestros jefes, para los aparatos de poco valor, y pidiendo la autorización superior para aquellos otros en que su importe resultaba de alguna importancia, hemos ido adquiriendo, á medida que los recursos lo han permitido, todos aquellos elementos indispensables para el objeto, dedicando nuestros ocios, auxiliados poderosamente por nuestro compañero el teniente del Cuerpo D. José Hernández y Cogollos, á poner en marcha el modesto laboratorio creado.

Entre todos aquellos aparatos claro está que los que más

fácilmente y primero hemos podido adquirir, por su poco relativo coste, han sido los necesarios para el estudio de los materiales hidráulicos. Con su auxilio hemos ido reuniendo observaciones propias en lo que se refiere á los productos extranjeros y formado idea tal vez errónea, pero exenta de prejuicios, de los que se fabrican en España. Con unos y otros datos, procurando estudiar lo mucho bueno que sobre esta clase de materiales se ha publicado, principalmente en Alemania y Suiza, y visitando, cuando hemos podido, algunas fábricas de las más acreditadas del extranjero, hemos escrito este modesto trabajo, que al someterlo al juicio de nuestros compañeros de Cuerpo, más competentes que nosotros, sólo nos guía el deseo de hacerles partícipes de las observaciones que, por las circunstancias antedichas, hemos tenido la fortuna de poder hacer personalmente. Si de ellas nada útil se puede sacar, cúlpese á nuestra poca aptitud, no á que en este caso nos haya faltado el auxilio de nuestros superiores, y muy particularmente el del jefe de la Comandancia de Madrid, coronel D. Federico Ruíz-Zorrilla, que todas nuestras propuestas las ha acogido y apoyado con la benevolencia que le es característica.

Los Materiales Hidráulicos.

CAPÍTULO I.

GENERALIDADES.

I.—Calizas.

El carbonato de cal natural romboédrico, conocido vulgarmente con el nombre de *caliza*, es el mineral de que se extrae la cal, base principal de todos los productos que sirven para formar las argamasas que se emplean en las construcciones. Aquel mineral, abundantísmo en la naturaleza, es uno de los más esparcidos en la costra terrestre, hallándose en todas las formaciones; pero en grandes masas pertenece especialmente á los terrenos neptúnicos ó de sedimento, formando parte de las rocas normales, es decir, de aquellas que no ofrecen señales de cambios ni dislocaciones posteriores á su formación.

Los caracteres físicos y exteriores de las calizas son diferentes entre unas y otras variedades, y aunque todas reconocen la misma composición representada por el carbonato de cal, los mineralogistas las han tenido que dividir en seis secciones, á saber: *caliza cristalizada*, *fibrosa*, *sacaróidea*, *compacta*, *hidráulica* y *terrosa*. Todas, sin embargo, tienen propiedades comunes que las hacen reconocer fácilmente, y que, por vía de recuerdo, diremos que son:

1.ª La caliza pura es incolora ó de un blanco lechoso ó amarillento.

2.ª El carbonato de cal, cualquiera que sea la forma en que se le encuentre, es muy difícilmente soluble en el agua pura (34 milígramos por litro), siéndolo en el agua cargada de ácido carbónico y dando lugar entonces á la formación del bicarbonato de cal.

3.ª Por la poca estabilidad del ácido carbónico las calizas son muy

solubles en los ácidos enérgicos, verificándose la reacción consiguiente con mayor ó menor desprendimiento de aquel gas, según la composición que tenga. Cuando el disolvente es el ácido nítrico y se somete la disolución á la acción del oxalato amónico, se obtiene un precipitado blanco, que es insoluble en los ácidos láctico y acético y soluble en el clorhídrico.

4.ª La acción del calor desaloja asimismo el ácido carbónico de las calizas y las transforma en cal viva ú óxido de calcio.

5.ª Todas las calizas, á excepción de las terrosas, rayan al yeso y todas se dejan rayar por el espato fluor y por la uña misma sin gran esfuerzo.

6.ª El peso específico de los carbonatos de cal es de 2,70.

Las distintas calizas antes enunciadas tienen un positivo interés para el estudio de la Mineralogía, y muchas de ellas son de gran aplicación en las artes, la industria y la construcción. Hay algunas, como sucede con las variedades cristalizadas, que desempeñan papel importante en las ciencias; por ejemplo, el espato de Islandia, que está considerado como el prototipo de la especie carbonato de cal y que sirve á la Física para el estudio de los fenómenos de la refracción y de la polarización de la luz. Hay otras á las cuales la industria y las artes les son deudoras de adelantos de la mayor importancia; tal sucede con la piedra litográfica, que no es otra cosa que una caliza compacta de grano muy fino y de porosidad bastante para que permitiendo penetren en ella las materias grasas con que se escribe ó se dibuja sobre su superficie, no lo es tanto que se corran aquellas materias y produzcan dibujos borrosos. No faltan tampoco calizas que tienen su aplicación para hacer con ellas objetos de lujo ó de adorno: los alabastros y las lumaquelas se hallan en este caso; y finalmente, hay otras, que por dicha son las más abundantes, que prestan servicios incomparables para la construcción, ya empleándolas como piedras, ya sometiéndolas á operaciones industriales, para sacar de ellas las cales para los morteros.

Desde el punto de vista de la ciencia geológica, el estudio de las rocas calizas presenta aún mayor interés para el industrial y el constructor. La Geología considera que la formación de la caliza en la costra terrestre proviene:

1.° Del bicarbonato de cal que llevan en disolución los manantiales.

2.° De la acumulación y detritus de las conchas marinas.

3.° De la descomposición, así de las rocas eruptivas y volcánicas, como de las primitivas.

4.° Según Cardier, de la descomposición de los cloruros de calcio y magnesio que se encuentran en cantidades considerables en los océanos, determinada por los carbonatos de sosa y de potasa en pequeña cantidad.

Sea cualquiera de estas causas, ó todas juntas, el origen de las rocas que nos ocupan, los geólogos agrupan las distintas variedades mineralógicas antes expresadas en las dos grandes divisiones de *rocas simples* y *rocas compuestas*, subdividiendo después cada una de éstas en otros grupos en la forma siguiente.

Corresponden á la primera división de *rocas simples:*

1.ª Las *calizas simples agregadas*, que casi nunca se encuentran puras, pues por lo menos llevan consigo alguna substancia bituminosa ó materias tintóreas que les dan color. El alabastro calizo, las oolitas y pisolitas, la toba caliza, los mármoles blancos ó de colores, los negros carboníferos, las lumaquelas y la piedra litográfica son las variedades pertenecientes á esta subdivisión.

2.ª Las *calizas simples conglomeradas*, entre las que se cuentan los mármoles tuberculosos y los brocatelas, los en brecha y los pudinga y la creta.

3.ª Las *calizas bastas*, que son conglomerados de fragmentos de de conchas, zoofitos y otros fósiles reunidos por un cemento calizo.

La segunda gran división, ó sea la de las *rocas compuestas*, se subdivide á su vez en:

1.ª Las *calizas silíceas*, á las que pertenecen las calizas lacustres y los mármoles ruiniformes y rojo antiguo.

2.ª Las *calizas arcillosas*, que, como su nombre lo indica, contienen una cierta cantidad de arcilla, que puede llegar hasta dos tercios de su masa total. Una variedad de esta caliza la constituye la marga, que realmente se sale ya del cuadro de las especialidades descritas, y que se reconoce fácilmente por su aspecto terroso y por ser muy poca la efervescencia que se produce cuando se la trata por los ácidos.

De todas las rocas enunciadas puede obtenerse la cal natural que se

emplea en la construcción, dependiendo, como es lógico, la bondad y condiciones del producto obtenido de la composición química de las calizas madres, y muy mucho de los medios que se pongan en práctica para la consecución del objeto que se persigue. Más adelante, cuando tratemos de cada uno de los materiales en particular, hemos de decir algo sobre asunto tan importante, y esto nos releva de entrar, por ahora, en más detalles.

En España poseemos yacimientos, algunos muy importantes, de todas las variedades geológicas de las calizas, y podríamos con facilidad dejar de ser feudatarios del extranjero para nuestro consumo interior y tal vez convertirnos en exportadores de nuestros productos industriales.

De la primera subdivisión del primer grupo existen yacimientos de calizas incrustantes ó tobas calizas en las provincias de Castellón, de Valencia y de Guadalajara; de la piedra litográfica, en las Vascongadas, Asturias, Murcia y Guadalajara; de los mármoles carboníferos, en todas las regiones hulleras, y de los lumaquelas, en la provincia de Córdoba.

De la segunda subdivisión se encuentran abundantes mármoles en los terrenos cretáceos de Castellón y la creta en esta misma provincia, en la de Guadalajara, donde hemos visto un yacimiento impartante, y en los Pirineos.

De la tercera subdivisión hay calizas en muchas partes de los terrenos terciarios de las Castillas.

De las calizas que á la segunda gran división corresponden, se encuentran las lacustres en Málaga y en los terrenos terciarios, antes mencionados, y de las arcillosas poseemos numerosos ejemplares procedentes de las provincias Vascongadas, de Cataluña, Segovia, Guadalajara, Valencia, Alicante, Jaén y otras muchas.

II.—Cales.

Por las consideraciones anteriores y valor material que muchas de las calizas alcanzan por sus aplicaciones especiales, se comprende que las que se emplean en la industria para la fabricación de la cal, que dicho sea de paso, tiene un valor comercial muy pequeño, son aquellas que no se presentan en masas compactas de las que se puedan sacar

grandes bloques, ni tampoco las que se encuentran en un relativo estado de pureza, que por otro lado no servirían para la fabricación de ciertas cales naturales. La materia de que más ordinariamente están impregnadas las calizas es la arcilla, pero pueden tener también, y las tienen con mucha frecuencia, otras impurezas, tales como óxido de hierro y de manganeso, piritas de hiero, arenas más ó ménos finas, restos orgánicos y materias bituminosas. Según la cantidad que las calizas tienen de estos cuerpos, producen al calcinarlas uno de los tres tipos principales de cales que se conocen, que son: *cales grasas, cales áridas* y *cales hidráulicas.*

Cuando se calcina el mármol blanco ó alguna caliza casi pura, es decir, que sólo contenga algunas centésimas de arcilla, de magnesia ó de arena mezclada, se obtiene la *cal grasa*, substancia que tiene la propiedad de combinarse con el agua, reduciéndose á polvo y desarrollando una elevada temperatura que suele llegar hasta 250 grados centígrados. Al verificarse esta reacción el volúmen aumenta también de un modo considerable, llegando el índice de *entumecimiento* en algunas cales, las procedentes de la Alcarria, por ejemplo, á ser de 250 por 100.

Cuando la cal se ha hidratado por la anterior operación, se dice que está *apagada*, y si después se le agrega agua en cantidad prudente, resulta con la cal grasa una pasta untuosa al tacto, que cuando se la deja al contacto del aire se endurece absorbiendo el ácido carbónico de la atmósfera; pero si se la deja bajo el agua conserva su estado blando indefinidamente, sin perjuicio de disolverse poco á poco y con arreglo al volúmen de agua en que se halle.

Si la caliza tiene grandes proporciones de magnesia, de óxido de hierro ó de arena cuarzosa, teniendo en cambio poca dosis de arcilla, la cal que se obtiene por su calcinación se deslíe igualmente al contacto del agua y en el aire se desagrega. Al apagarla el desarrollo de calor es mucho más pequeño que en las cales grasas y asimismo el entumecimiento es de poca importancia. La pasta que se forma al amasarla resulta poco trabada y áspera al tacto. Esta cal recibe el nombre de *cal árida.*

Cuando las substancias extrañas de la caliza son la arcilla ó la sílice dividida, siendo su proporción por lo ménos del 10 al 21 por 100 del peso de aquella roca, la cal que resulta al calcinarla se la conoce por *cal hi-*

dráulica. Esta variedad conserva los mismos fenómenos peculiares de las áridas, en lo relativo al entumecimiento y calor desarrollado, que son pequeños, pero tiene la propiedad notable de endurecerse bajo el agua al cabo de cierto tiempo más ó ménos largo.

Si la dósis de aquellas materias extrañas en la caliza es mayor del 21 por 100 de su peso total, el producto que resulta después de la cocción es lo que se denomina *cemento*, que no es otra cosa sino una verdadera cal hidráulica con todas las propiedades de ésta, en lo relativo á su endurecimiento bajo el agua, aunque este fenómeno se produce más rápidamente, pero que no se apaga ni reduce á polvo como no sea por medios mecánicos.

Dicho se está que ni tiene entumecimiento ni se observa aumento de calor cuando se la moja.

III.—Clasificación de los materiales hidráulicos.

A partir de la primera clasificación de las cales, hecha en el párrafo anterior, y prescindiendo completamente en este estudio de las cales grasas, de que para nada nos hemos de ocupar, puesto que son harto conocidas y el objeto que nos guía es sólo dar una idea del estado actual de los conocimientos que se tienen de los productos hidráulicos, que cada día adquieren mayor importancia en la construcción; diremos que aun cuando desde el año 1756, al construir el faro de Eddystone, se tenía alguna noticia de la existencia de estos productos, y que después en diferentes ocasiones se hicieron algunos trabajos y obtenido varios privilegios por químicos tan distinguidos como Bergmann, Guyton de Morveau, Saussure y Edgard Dobbs, á Vicat realmente es á quien se deben los primeros estudios serios sobre ellos, y el fué quien sentó las bases fundamentales de su clasificación y quien, después de no pocas vicisitudes y con gran desinterés, el que dió lugar á que se hiciese una verdadera revolución en las argamasas que se emplean en la construcción.

Los primeros trabajos de Vicat datan del año 1813. Las dificultades que este ingeniero tuvo que vencer en las cimentaciones del puente de Suillac y los conocimientos que tenía de los ligeros ensayos anterio-

res, le decidieron á buscar con afán la solución del problema que se le presentaba; para ello, al decir de su nieto Mr. Merceron Vicat (1), sabio ingeniero y entendido director de las fábricas que la Sociedad Vicat posee en Grenoble, «empezó por tomar muestras de todas las calizas reputadas como hidráulicas, se aseguró por sí mismo de que después de cocidas se endurecían bajo el agua é hizo acto seguido un análisis completo de ellas, observando que los resultados obtenidos eran tan desemejantes entre sí que á primera vista no se podía, ni aun después de atenta observación, deducir ley alguna de aquellos resultados. Aparte del carbonato de cal que formaba naturalmente la base principal de la caliza, todos los demás elementos diferían de tal manera de unos á otros ejemplares que se daba el caso de que el hierro, el manganeso y la magnesia estaban en unos en proporciones importantes, mientras que en otros faltaban por completo. Solamente un hecho resultó claro en sus investigaciones, á saber: que tratando las calizas por un ácido y filtrando la solución, se obtenía un resíduo semejante á la arcilla y de composición análoga, es decir, que en él se demostraba la existencia del silicato de alúmina.

De este hecho dedujo ya que la condición precisa para que una caliza dé por la cocción un producto que se endurezca bajo el agua, es que aquella contenga una cierta porción de arcilla; pero quedábale para salir de la duda de si dicha condición, que tenía ya por necesaria, era suficiente, y acudió al recurso de mezclar los dos elementos principales que había encontrado en las calizas: la cal y la arcilla, amasarlos y cocer las galletas que formó por el método mismo que había usado con las calizas naturales para obtener las cales que había experimentado. Este método sintético le produjo la grata sorpresa de ver que el producto que sacó del horno se apagaba con el agua, se entumecía en cierta extensión y se endurecía una vez sumergido del mismo modo que lo hacían las cales naturales que conocía.»

De esto dedujo ya la verdadera ley, que expresó diciendo que: *para que una caliza dé por la cocción cal hidráulica, es necesario y suficiente que contenga diseminada en su masa, de una manera íntima, cierta cantidad de arcilla.*

---

(1) *Chaux hydrauliques et ciments.*—Folleto en 8.°, Grenoble, 1885.

Sabido es que la arcilla no es más que un silicato de alúmina hidratado, y quedaba por resolver, después de esta ley fundamental, si el valor hidráulico de las cales se debía á la alúmina ó á la sílice. El papel de la primera no está bastante claro, y aunque de las experiencias del mismo Vicat y de Berthier se dedujo que aquel compuesto por sí sólo es impotente para dar á las cales grasas la propiedad de endurecerse bajo el agua, parece ser que tampoco se le puede considerar como inerte, y está demostrado que la proporción de la alúmina con relación á la sílice ha de conservarse dentro de cierto límite, pasado el cual una parte solamente de la primera es eficaz y el resto produce cierta aridez perjudicial á la cal. Vicat fijó este límite en las proporciones de la arcilla normal, es decir, 36 de alúmina por 64 de sílice.

Visto, pues, que la hidraulicidad de las cales proviene de la arcilla que contiene la caliza que la origina, Vicat dedujo asimismo que, según que el referido elemento esté en mayor ó menor proporción, la cal producida poseerá cualidades hidráulicas diferentes, ó lo que es lo mismo, que el tiempo que tardará en endurecerse ó *fraguar* debajo del agua será también distinto.

Fundado en esto, Vicat adoptó una clasificación, que se ha conservado hasta hace muy poco tiempo, por virtud de la cual las cales hidráulicas se dividían en:

Cales débilmente hidráulicas.
Cales medianamente hidráulicas.
Cales hidráulicas propiamente dichas.
Cales eminentemente hidráulicas.
Cales límites.
Cementos.

Caracterizándose cada una de estas clases, según hemos dicho antes, por el tiempo que tardan en fraguar, cosa que sería muy hacedera si pudiera determinarse de una manera precisa el comienzo y fin de este fenómeno, á lo que ya se ha llegado con arreglo á ciertas convenciones, y si dicha relación no fuese dependiente en grado sumo de la cantidad de agua que se incorpore á la cal, del tiempo que se emplee en el amasado y hasta del que pase desde la fabricación del producto hasta el momento en que se hagan las manipulaciones.

Estas dudas desaparecen cuando se acude para la clasificación á la composición química del producto. En efecto, si se hace abstracción de las materias inertes, se toma tan sólo la relación del peso de la arcilla con el de la cal cáustica $\left(\frac{\text{arcilla}}{\text{cal}}\right)$ y se le da á esta relación el nombre de *índice de hidraulicidad*, es evidente que formando las diversas cales una série en que este índice va aumentando, se pueden tomar límites entre los que se hagan divisiones bien determinadas, á partir, por supuesto, del índice que corresponde á las cales grasas, que necesariamente tiene que ser algo arbitrario, puesto que no se da el caso frecuente de que las calizas que producen esta cal sean puras ni mucho ménos.

Adoptando para el repetido índice inferior, de acuerdo con el sabio ingeniero Durand-Claye, el de 0,10 que corresponde á una dósis de arcilla de 5,3 por 100 en la caliza arcillosa, se formó el cuadro siguiente:

	Índice de hidrulicidad.	Arcilla contenida en 100 de caliza.	Duración media del fraguado.
Cales débilmente hidráulicas..	0,10 á 0,16	5,3 á 8,2	16 á 30 días.
Cales medianamente hidráulicas..	0,16 á 0,31	8,2 á 14,8	10 á 15 días.
Cales hidráulicas.	0,31 á 0,42	14,8 á 19,1	5 á 9 días.
Cales eminentemente hidráulicas..	0,42 á 0,50	19,1 á 21,8	2 á 4 días.
Cales límites ó cementos de fraguado lento.	0,50 á 0,65	21,8 á 26,7	5 á 12 horas.
Cementos rápidos..	0,65 á 1,20	26,7 á 40,0	5 á 15 minutos.
Cementos áridos.	1,20 á 3,00	40,0 á 62,6	No fraguan.
Materias puzolánicas.	más de 3,00	más de 62,6	

El nombre de cales límites que se le ha dado á las producidas por calizas cuya arcilla es superior á 0,50, proviene de que en la época de los admirables estudios de Vicat, aquellas calizas, sometidas á la cocción ordinaria, eran las últimas que podían dar cal hidráulica de posible empleo en la construcción, á la vez que se consideraban como el límite inferior de todas aquellas calizas que ya eran impropias para el objeto; sin embargo, no se le escapó al ilustre ingeniero que si estas últimas calizas se las somete á la acción de un fuego bastante fuerte para reducirlas á un estado pastoso próximo á la vitrificación, resultan productos con

propiedades enérgicas de hidraulicidad. Posteriormente á su época, en los últimos treinta años, esta idea ha adquirido importante desarrollo y en ella se funda, precisamente, la gran aplicación moderna de aquellas cales que por algunos se las llegó á considerar como completamente inútiles. Cocidas con la condición antes dicha, de modo que se llegue á un principio de vitrificación en la masa, resultan los productos llamados *cementos de fraguado lento* ó *cementos Portland artificiales* (1), cuyo adjetivo es consecuencia de la poca homogeneidad de las calizas naturales, que de ordinario exigen una preparación especial para mezclar íntimamente todos sus elementos. Estos cementos no se apagan con el agua, pero triturados mecánicamente y amasados, fraguan en un espacio de tiempo de cinco á doce horas, endureciéndose después rápidamente y soliendo alcanzar su máximo de resistencia á los dos meses.

Cuando en las calizas la proporción de arcilla pasa de 26,7 hasta el 40 por 100 y se las calcina moderadamente, el producto resultante no se apaga tampoco, es decir, no se reduce á polvo combinándose con el agua, sino que, igualmente que los cementos Portland, hay que triturarlos; pero cuando están en polvo, una vez amasados fraguan en pocos minutos, de lo que les proviene el nombre de *cementos rápidos*, conociéndoseles también en algunas partes por cementos romanos, por la falsa idea que se ha tenido en algún tiempo de ser los mismos materiales que se usaban en la época floreciente de Roma (2).

Si la cocción de estas mismas calizas á que nos referimos en el párrafo anterior se efectúa á mayor temperatura hasta el principio de vitrificación, se obtiene de nuevo otro producto de fraguado lento, relativamente, puesto que no se verifica el fenómeno nunca en menos de dos ó cuatro horas, siendo la resistencia de los morteros resultantes mayor que la de los cementos rápidos, pero siempre menor que la de los cementos Portland. A estos productos se les suele designar impropiamente con el nombre de *cementos Portland naturales.*

Las calizas que contienen más del 40 por 100 de arcillas ya no sir-

(1) Esta denominación inglesa proviene del parecido que tenía en el color el cemento fabricado por el tejero Apsdin en 1824, en el condado de York, con la piedra de Portland; pero existen bastantes dudas sobre si el cemento que aquél fabricaba lo hacía ó no por el método que se usa actualmente.

(2) Los romanos nunca conocieron otras argamasas que las formadas con cales grasas y las que hacían mezclando estas mismas cales con puzolanas.

ven para fabricar productos hidráulicos de buena aplicación; con ellas, sin embargo, pueden obtenerse *puzolanas artificiales*, parecidas á las naturales que se empleaban ya en la época de Vitrubio. Esta materia suele tener como elementos esenciales la sílice y la alúmina, y como elementos accesorios la arena, los peróxidos de hierro y de manganeso, la magnesia, la cal y la sosa.

Cualquier arcilla puede producir la puzolana con tal de que la cocción se haga en condiciones de que no pase el calor de 700 á 800 grados; sin embargo, como éste es un producto que, aunque usado todavía en algunas regiones de Europa, no lo es ni poco ni mucho en España, no insistiremos más sobre él.

Además de estos materiales hidráulicos existen otros que realmente no son más que derivados de los anteriores; pero como su empleo se va extendiendo cada vez más, los señalaremos en este estudio: tales son los *cementos mixtos*, los *cementos de granzas* y los *cementos de escorias de altos hornos*.

Los primeros de estos, que suelen venderse como cementos Portland artificiales (1), se fabrican mezclando en proporciones variables el cemento natural con las granzas de las cales hidráulicas, triturando después el conjunto mecánicamente. Según que la cantidad de cemento que forma parte de este producto sea mayor ó menor, el fraguado es ménos ó más lento.

Los cementos mixtos suelen tener en su composición ménos sílice y más alúmina que los Portland. Su índice de hidraulicidad varía entre 0,50 y 0,70.

Los cementos de granzas lo constituyen los resíduos de las cales hidráulicas que no se han podido apagar, bien sea por no haber llegado en ellos la cocción al punto necesario, bien porque se haya traspasado la temperatura conveniente. Dichos resíduos, después de una prolongada manipulación, cuyo objeto principal es separar el polvo de cal que queda adherido á ellos y el que se forma al cabo de cierto tiempo por apagamiento espontáneo de su superficie, se muelen y se tamizan convenientemente.

---

(1) El ingeniero jefe de puentes y calzadas Mr. A. Gobin, en su estudio sobre los cementos de L'Isére, publicado en los *Annales des ponts et chausées*, primer semestre de 1889, censura con razón esta denominación adoptada por la sociedad de cementos de «La Porte de France».

Su composición química acusa muy poca cantidad de alúmina. En algunos casos no pasa del 2 por 100; en cambio la sílice se encuentra en ellos en grandes proporciones.

Los cementos de escorias de altos hornos son productos de fabricación reciente. Obtenidos con dichas escorias, que deben enfriarse de una manera brusca al salir de los hornos para que no formen masas vitrificadas, mezcladas con cales grasas ó hidráulicas apagadas préviamente, no pueden tener una composición normal, porque ésta varía mucho con la que tienen sus dos elementos; en general acusan una proporción de 2 á 4 por 100 de sulfuro de calcio.

Tal variedad de productos ha hecho que sea necesaria una clasificación dependiente, por decirlo así, de las propiedades y métodos de fabricación que se siguen para obtenerlos, y de que el estudio de todos ellos haya adquirido importancia bastante para que por todas las naciones se sigan trabajos interesantísimos, que en períodos cortos se transmiten unas á otras en congresos donde se reunen delegados de todas ellas. Hasta el presente han tenido lugar ya tres en Munich el año 1884, en Dresde en 1886 y en Berlín en 1890, preparándose otro en Viena para el mes de Septiembre del corriente año de 1892. En los dos primeros se acordó ya la clasificación siguiente:

1.° *Cales hidráulicas.*—Se comprende en ellas todos los productos obtenidos por la cocción de calizas arcillosas ó silíceas, que regadas con agua se apagan total ó parcialmente sin aumentar de modo sensible de volúmen.

2.° *Cementos romanos.*—Con esta denominación deben entenderse los productos que resultan de la cocción hasta un límite inferior al punto de fusión de calizas arcillosas con grandes dósis de arcilla, las que no pudiendo apagarse con auxilio del agua deben someterse á una trituración mecánica para su empleo.

3.° *Cementos Portland.*—Los cementos Portland son los productos obtenidos por la cocción hasta un principio de vitrificación de las calizas hidráulicas, ó una mezcla de materiales calizos y arcillosos que, después de cocidos, se trituran hasta obtener un polvo fino. Estos cementos deben además contener, por lo ménos, 1,7 partes de cal por unidad de substancias hidráulicas.

La adición de materias extrañas hasta el 2 por 100 del peso del cemento puede tolerarse en los Portland con objeto de aumentar ciertas cualidades importantes, desde el punto de vista técnico, sin que por esta alteración deba cambiarse la denominación del cemento.

4.° *Puzolanas hidráulicas.*—Admítese esta denominación para las materias naturales ó artificiales que no se endurecen por sí solas, pero que proporcionan el medio de formar morteros hidráulicos cuando se mezclan con la cal viva.

5.° *Cementos puzolánicos.*—Los cementos puzolánicos son los productos que se obtienen por la mezcla íntima del hidrato de cal en polvo con las puzolanas hidráulicas reducidas á polvo fino.

6.° *Cementos mixtos.*—Caben en esta denominación las mezclas de cementos naturales con ciertas materias propias para este uso. Los cementos mezclados deben designarse como tales con la indicación de las materias que han entrado en su composición.

Esta clasificación adolece de un defecto que proviene seguramente del deseo de los congregados de reducir en lo posible el número de los materiales hidráulicos, formando grandes grupos con todos aquellos que tienen cierta semejanza, prescindiendo de la composición química que hasta hace poco tiempo disfrutaba de gran importancia como medio de investigación.

En Francia, á pesar de este acuerdo, en lo relativo á las cales hidráulicas han seguido con la inveterada costumbre de subdividirlas en débiles, medianas, propiamente dichas y eminentemente hidráulicas, y los autores españoles que han escrito últimamente han seguido la misma rutina, que en nuestro concepto no hay para qué, bastando con un sólo grupo para abrazarlas todas. Generalmente, en las construcciones cuando hay que aplicar las cales hidráulicas, nadie se cuida de pedir que lo sean débilmente, ni en realidad habría motivo que explicase tal condición. Si es por cuestión de economía, no hay que esperarla por usar semejantes cales: el precio á que podría resultar en el mercado una cal débilmente hidráulica ó una que lo sea eminentemente hidráulica, próximamente será el mismo á condiciones de procedencia iguales.

Si es que basta la débilmente hidráulica para las necesidades que se deben llenar en lo relativo á su fraguado, también bastará, puede decirse, la cal grasa y mejor papel desempeñará la hidráulica propiamente

dicha. En una palabra, la hidraulicidad de una cal es el punto esencial del producto mismo, y cuando una cal hidráulica se busca no es cosa de regatear su índice; lo que se quiere es que todas sus condiciones de homogeneidad, fabricación, apagado, etc., obedezcan á buenos principios para tener seguridad de la bondad del producto. La cal de Teil, por ejemplo, reconocida en el mundo entero como el tipo de las cales hidráulicas, tiene por índice 0,39, es decir, que se acerca al de las eminentemente hidráulicas y en el año último, una sola de las sociedades que explotan la canteras, la de J. y A. Pavin de Lafarge, ha fabricado y vendido más de 160.000 toneladas, cifra á que no hubiera llegado, seguramente, si el consumidor de esta clase de productos quisiera aquilatar en su empleo el índice de hidraulicidad. Aplica lo que sabe que es bueno y nada más.

Así lo han comprendido también, disintiendo de otros colegas suyos, los ingenieros Mres. Durand-Claye y Debray, directores del notable laboratorio de ensayos del Trocadero de Paris, los que en los documentos presentados el 17 de Julio de 1890 á la comisión de cementos del ministerio de Obras públicas de Francia (1), empiezan por clasificar las cales hidráulicas en un sólo grupo é incluyen en otros las distintas clases de cementos que han ensayado, separándose en algo de las convenciones de Munich y Dresde.

La clasificación hecha por aquellos señores es la siguiente:

Cales hidráulicas naturales ó artificiales.
Cementos de granzas de cal.
Cementos de fraguado rápido (tipo Vassy).
Cementos Portland naturales.
Cementos mixtos obtenidos ordinariamente moliendo una mezcla de granzas de cal y rocas de cemento Portland naturales.
Cementos Portland naturales.
Cementos de escorias.

Esta clasificación es perfectamente racional, dados los materiales hi-

(1) A la exquisita amabilidad de aquellos señores debemos un ejemplar de estos importantes documentos, que forman un tomo en folio con infinidad de fotograbados, tablas, resultados de experiencias y multitud de datos, relativos á cementos, á cual más interesantes y de utilidad para ingenieros, fabricantes y constructores.

dráulicos que hoy se fabrican. Lo que en los congresos citados llamaban cementos romanos, siguiendo las ideas á que en páginas anteriores nos hemos referido, tiene su razón de ser en Alemania y en Suiza, donde como en Francia y entre nosotros no se consideran estas clases de cementos como fatalmente de fraguado rápido. En aquellas naciones, que van á la cabeza de los estudios sobre los materiales hidráulicos, se conocen igualmente como cementos romanos productos que tardan en fraguar muchas horas unos y minutos solamente otros. Es prudente, pues, no agrupar bajo la misma denominación materiales que, aunque tengan algunas cualidades comunes, se distinguen por diferencias de fabricación tan importantes que á la corta ó á la larga han de resultar también diferencias en su manera de obrar.

CAPÍTULO II.

FABRICACIÓN DE LAS CALES HIDRÁULICAS.

I.—Conjunto de la fabricación.

La fabricación de las cales hidráulicas es una operación relativamente complicada y que exige, en quien ha de establecerla, conocimientos especiales que no suelen estar al alcance de cualquiera. Á primera vista, y de ahí proviene el error, parece ser que en cuanto se encuentra una formación caliza arcillosa en que, por un análisis sucinto unas veces y otras por sólo su aspecto exterior, se cree que ha de resultar con una relación conveniente entre los dos principales elementos componentes, se tiene ya cuanto se desea y no hay más que someter á la cocción la piedra arrancada para obtener el producto que se busca, sin descender á un estudio serio, ni de las condiciones y homogeneidad del yacimiento, ni de su mayor ó menor facilidad de explotación, ni de su situación con relación á los puntos de consumo ó de exportación, ni de ninguna de las concausas que influyen en el resultado del negocio, mirado técnica y económicamente. De igual manera, la construcción de los hornos, con todas las consecuencias que de su marcha han de resultar, su emplazamiento, el de los edificios indispensables para las restantes operaciones que luego describiremos, el esmero y atención con que éstas han de ejecutarse y, en una palabra, todos los detalles de instalación, son factores importantísimos que pueden originar, despreciando cualquiera de ellos, el descrédito del producto por no tener las condiciones requeridas, ó la imposibilidad de establecer la competencia honrada que persigue todo industrial de buena fé.

Por lo que á esta última parte se refiere, una vez supuesto que la parte técnica sea la conveniente, la disposición general de los edificios

y de los hornos no es indiferente, debiendo atenderse á situarlos de manera que entre unos y otros y entre los últimos y las canteras haya las fáciles comunicaciones que exige el constante movimiento de los materiales, y entre los almacenes de las cales ya fabricadas y las líneas generales de comunicación en el país no existan obstáculos que obliguen á rodeos ó gastos grandes de transporte, que hagan que el precio total de aquellos materiales, en los puntos de consumo, pase de lo que realmente tengan como valor los productos similares ó de algo inferior calidad.

Para conseguir en parte la economía que se quiere, es muy recomendable buscar la manera de que los sucesivos compuestos que se van obteniendo, á partir de la piedra extraída de la cantera, desciendan por su propio peso hasta el punto en donde hayan de sufrir otra transformación, sin que en ningún caso deba gastarse fuerza animal ni mecánica para elevarlos; es decir, que siempre que el terreno lo consienta, la fábrica debe instalarse en zonas escalonadas, ocupando la superior la cantera y la inferior los almacenes de depósito del producto fabricado.

Esto no es siempre fácil, pero en todas las importantes fábricas del extranjero se ha atendido á aproximarse, por lo menos, á esta disposición. En los grandes establecimientos de Lafarge de Teil, se ha aprovechado la diferencia de nivel que existe entre la cantera y el Ródano, donde está el puerto propio de embarque y cuyo valle sigue el ferrocarril de Nimes á Lyon, para emplazar las construcciones con arreglo á aquella prescripción.

También las instalaciones de Grenoble se pueden tomar como un modelo en lo referente á la aplicación de los recursos que tiene en la actualidad la ingeniería moderna para alcanzar el máximo de economía. El empleo de las vías Decauville y sus análogas, los planos inclinados automotores, los ferrocarriles aéreos, etc., son elementos que se deben aplicar juiciosamente para que en las grandes instalaciones no desempeñe el hombre más cometidos que los que necesiten la inteligencia teórica ó la práctica que proporciona la experiencia continuada.

La fabricación de las cales hidráulicas se compone de cinco partes, bien definidas, que tienen sus fundamentos en las aplicaciones de la física, la química y la mecánica, y que son:

Explotación de las canteras.

Cocción de las calizas.

Apagado de la cal.

Tamizado.

Envasado.

De cada una de estas partes daremos una idea en los párrafos siguientes, con la extensión bastante para hacer comprender la importancia de cada una y todas ellas.

II.—**Explotación de las canteras.**

Cualquiera que sea el yacimiento que se haya de explotar para obtener las cales hidráulicas, es más que probable que presente diversos bancos de composición, parecida sí, pero en los que cada uno de los elementos componentes entren en proporciones distintas. Si la explotación se verificase sin más precauciones que aplicar un método cualquiera de los conocidos para las canteras en general, el producto que se obtendría al fin no sería nunca homogéneo, ni sus cualidades de bondad en su aplicación serían las mismas. Es, pues, necesario, para conocer el verdadero valor de regularidad del yacimiento, empezar por determinar, por medio de análisis completos y repetidos, cuál es la composición de aquel y cuál el valor de su regularidad, para deducir si es posible emplear sus diferentes bancos indistintamente, ó si hay que mezclar unos con otros y en qué proporciones, no olvidando averiguar la extensión ó importancia de cada uno de ellos.

El malogrado ingeniero director de las fábricas de Pont-de-Pany y Malain, Mr. H. Bonnamí, estableció una fórmula que de manera fácil en su aplicación dá una idea exacta del valor de un yacimiento. Llama para ello Y é i los índices máximo y mínimo que resultan de los diferentes análisis hechos en toda la extensión de la cantera, P y p las proporciones en extensión de los bancos correspondientes á aquellos índices, i' i'' i''' ..... los índices de los bancos intermedios y p' p'' p''' ..... las proporciones de éstos con relación á toda la zona que se considera explotable, y con estas convenciones, de los datos previos resultado de los

análisis, establece el índice medio de todo el yacimiento, que naturalmente será

$$\frac{Y\,P + i'\,p' + i''\,p'' + \ldots\ldots + i\,p}{P + p' + p'' + \ldots\ldots + p}.$$

Mientras la diferencia entre los índices máximo y mínimo Y é i sea pequeña, el producto podrá ser regular; pero si esta diferencia es de alguna importancia, el producto que se obtendría mezclando los diferentes bancos, sería de hecho inadmisible, porque la cocción que convendría á la caliza de índice máximo no sería, como en el párrafo siguiente explicaremos, la más conveniente para la de índice mínimo. Cuando la de este índice estaría perfectamente cocida, la de índice Y habría pasado con mucho de la temperatura conveniente, y recíprocamente, si sólo se había llegado en la cocción al grado de calor que le es necesario á la de índice mayor, la de índice i quedaría sin cocer é imposible de apagar.

Esto sin entrar en otro género de consideraciones relativas á la regularidad en la composición de las sales que se forman durante la cocción, para lo que es indispensable que las relaciones

$$\frac{\text{cal combinada}}{\text{sílice} + \text{alúmina}} \quad \text{y} \quad \frac{\text{cal combinada} + \text{sílice} + \text{alúmina}}{\text{cal libre}}$$

sean constantes.

Una vez bien conocida la composición y bondad de la cantera, la explotación propiamente dicha no presenta ninguna dificultad y puede hacerse á cielo abierto ó en galerías, según más convenga á la situación de los bancos explotables. En uno y otro caso hay que comenzar por sacar grandes bloques, que luego se parten en pequeños trozos de 6 á 8 centímetros de lado, según la teoría aconseje y la experiencia compruebe, para su mejor cocción, valiéndose en todos los casos de los medios conocidos para el arranque de piedras de cualquier género que sean.

En la ya indicada fábrica de Teil se sigue un método curioso, que describiremos como ejemplo digno de imitarse, método que se ha impuesto por la situación de los hornos que se hallan próximos á la cantera y con su tragante á la altura del pié de aquella, que tiene la enorme altura de 110 metros en una extensión de 600 metros de longitud.

En cuatro operaciones dividen allí la explotación: las grandes voladuras, las voladuras secundarias, la aplicación de barras para los bloques

relativamente pequeños obtenidos ya por los medios anteriores, y el machaqueo de la piedra para su inmediato consumo en los hornos.

La primera de aquellas operaciones sólo tiene lugar en períodos relativamente largos, cuando las necesidades de la fábrica la piden, y dependiendo, como es lógico, de la masa obtenida en la voladura anterior. La última de éstas que ha tenido lugar fué el 14 de Marzo de 1889, en que, á pesar de haber sido una de las que menos rendimientos han dado, á causa de una falla que limitó lateralmente la acción de la pólvora, aquel rendimiento alcanzó á la enorme cifra de 80000 metros cúbicos de material útil, con el empleo de 8500 kilógramos de pólvora de mina.

Para efectuar las grandes voladuras comienzan por quitar las pequeña capa de tierra vegetal que cubre toda la montaña y abrir una galería de mina en el banco inferior, que es el más duro, tomando en cuanto es posible por techo de esta mina el lecho de la extratificación inmediatamente superior. Cuando la mina tiene la longitud conveniente para el efecto calculado, se vuelve en ángulo recto y después se profundiza en pozo para formar el hornillo, cuyas dimensiones son variables según las circunstancias, pero siempre las bastantes para que quepan 8 á 12 toneladas de pólvora.

El problema que se trata de resolver, consistente en romper el banco inferior, dislocando toda la parte superior de la montaña sin proyección alguna, es bien complejo, puesto que un error por defecto ocasionaría pérdida de tiempo y de los gastos de establecimiento de la mina, y uno por exceso podría dar lugar á un verdadero desastre, ocasionando la ruina de los hornos y hasta de parte de las edificaciones que hay entre la cantera y el Ródano.

La fórmula que allí aplican para el cálculo de las cargas, fruto de su experiencia propia, es

$$C = K H^3,$$

en la que C representa la carga en kilógramos y H la distancia del fondo de la cámara al frente de la cortadura de la cantera, adoptando 0,60 para el valor del coeficiente K, término medio de los que en Francia gozan de mayor prestigio, que son el preconizado por Bourgoyne, que es de 0,50, y el que usa el Cuerpo de Ingenieros del Ejército, que lo elevó á 0,70.

Una vez descompuesta la parte de montaña que ha sufrido los efectos de la explosión, proceden á ejecutar otras menores por medio de las minas Courbebaisse, con ayuda de las que llegan á conseguir que se desprendan bloques hasta de 3000 metros cúbicos, empleando 7 kilógramos de ácido clorhídrico del comercio y 1 kilógramo de pólvora.

Estos últimos bloques se trozan con auxilio de las barras ó ayudándose con pistoletes, cuyas cargas no pasan de 120 gramos ni la profundidad de $1^m,20$.

Como las piedras obtenidas no son aún suficientemente pequeñas para su cocción en buenas condiciones, se machaquean con almádenas hasta darles la dimensión de 6 centímetros de grueso por algunos más en longitud y latitud, amontonándolas acto seguido en la explanada próxima á los hornos para emplearlas cuando son necesarias.

III.—Cocción de las calizas hidráulicas.

La cocción de las calizas es la operación más importante de cuantas hay que hacer para fabricar las cales, adquiriendo caracteres de verdadera complicación cuando de calizas hidráulicas se trata. En los carbonatos de cal con muy poca mezcla de materias extrañas que se emplean en la industria para obtener las cales grasas, los fenómenos químicos que se verifican durante la cocción son en extremo sencillos, y se reducen á la expulsión del agua y del ácido carbónico, quedando solamente la cal cáustica, tanto más pura cuanto más lo sea también la roca que le ha dado orígen. En las calizas arcillosas, por el contrario, la cocción dá lugar á fenómenos físicos de mayor importancia, aunque perfectamente claros, y á otros químicos, sobre los que aún quedan muchísimas dudas, á pesar de los continuados estudios que se vienen haciendo, y que demuestran que lo que parece operación tan sencilla sea en realidad difícil y de positiva habilidad.

Desde el momento en que las calizas arcillosas se someten á la acción del fuego, su *color*, su *densidad*, su *dureza* y su *textura* varían. El primero de estos caracteres cambia de manera que aunque no se pueden dar reglas fijas, porque depende en mucho de la composición de la roca, puede decirse que en los primeros momentos de la cocción se aclara el color,

obscureciéndose de nuevo más y más cuando la intensidad del calor aumenta, llegando hasta el azul ceniciento, después de pasar por otros matices, dependiendo de la cantidad de la arcilla, cal, alúmina y sílice que contiene, y, en la mayor parte de los casos, del hierro que se oxida desde el comienzo de la cocción.

Los horneros prácticos, cuando de una caliza dada se trata, conocen por el color que tienen los fragmentos después de la cocción la temperatura á que ha estado sometida.

La densidad de las calizas en realidad aumenta después de cocidas, efecto que proviene de una gran contracción en su volúmen, que es mucho mayor relativamente que la pérdida de peso que experimenta cuando la temperatura á que se la somete es elevada; pero si esta temperatura no llega á serlo y se considera sólo la *densidad aparente*, es decir, la relación de su peso á su volúmen aparente, que antes de sufrir contracción es muy poroso, entonces dicha densidad disminuye de una manera notable, sobre todo al principio de la cocción, hasta el punto de haber calizas que, teniendo una densidad de 2,400 la mínima aparente que llegan á tener, baja hasta 1,700.

Este cambio en la densidad lleva consigo el de la dureza y textura que presentan. A medida que aquel carácter varía descendiendo, la dureza es también menor y la textura, como se hace más porosa, cambia. En el momento en que por efecto del calor la densidad aparente vuelve á aumentar, la dureza se hace mayor y la textura toma carácter distinto, apareciendo hiendas y hasta vitrificaciones.

Igualmente que el color sirven los otros tres caracteres físicos á los prácticos para conocer el grado de cocción y calidad del producto que obtienen en los hornos, por el aspecto y peso que tienen los fragmentos cocidos.

Los fenómenos químicos de la cocción de las calizas hidráulicas entran de lleno en el dominio de la ciencia, y ésta hoy por hoy no ha dicho, ni mucho ménos, su última palabra, estando aún en el período de estudio.

Las calizas de esta clase que se emplean en la industria, las componen, como ya sabemos, mezclas íntimas de carbonato de cal y arcilla, si bien pueden contener sílice y alúmina libres y otros elementos secun-

darios, tales como la magnesia, el hierro, los álcalis y en algunos casos el sulfato de cal.

El cuadro siguiente, formado con los análisis hechos por Berthier, Rivot, Deville y otros químicos, dá una idea de la composición general que suelen tener las calizas, de las que se extraen las cales hidráulicas más aceptadas.

ELEMENTOS.	PARTES EN QUE ENTRAN.
Carbonato de cal.	De 72,50 á 89,20
Idem de magnesia.	0,00 á 4,50
Arcilla..	7,60 á 23,00
Sílice gelatinosa.	0,00 á 15,33
Arena cuarzosa.	0,00 á 6,50
Alúmina..	0,00 á 2,62
Carbonato de hierro.	0,00 á 6,20
Idem de manganeso.	0,00 á 1,50
Pirita de hierro.	0,00 á 0,80
Sosa y Potasa..	0,00 á 0,12
Agua..	0,00 á 4,50

Como se vé por el cuadro anterior, bien sea que las calizas hidráulicas tengan en sí todos los elementos que en aquel aparecen, bien que sólo contengan los principales que las caracterizan, siempre constituyen aquellas rocas un sistema químico no homogéneo, el que sometido á la acción del calor ha de dar lugar á fenómenos de disociación y de composición, dependientes de la temperatura alcanzada y de la acción que esta temperatura tenga sobre los cuerpos componentes.

En cuanto el grado de calor alcanza á 440 grados centígrados (1) la descomposición del carbonato de cal, cuando no es puro, comienza; á 700° la arcilla pierde su agua de combinación, pareciendo ser, según Fremy, que el fenómeno de deshidratación de la arcilla lleva consigo el comienzo de descomposición de este cuerpo, análogamente á lo que sucede en las sales que contienen ácidos débiles.

A partir de 700°, la caliza vá perdiendo con rapidez su ácido carbó-

(1) Según las experiencias de Mr. Le Chatelier, la disociación del carbonato de cal puro no se verifica á la presión ordinaria hasta la temperatura de 812°, que corresponde á una tensión de 763 milímetros.

nico en virtud de la presencia de la sílice, cuyas facultades ácidas van creciendo con la temperatura, y llega un momento en que el referido ácido desaparece por completo, siempre en el supuesto de que estas reacciones se verifiquen en un vaso abierto, como tienen lugar en los hornos industriales.

A la vez que esta expulsión del ácido carbónico se verifica, la cal resultante se combina con la sílice y con la alúmina provinientes de la descomposición de la arcilla y dá lugar á nuevos compuestos, que son aluminatos y silicatos de cal y silicatos dobles de alúmina y cal.

Hasta aquí no ha habido posibilidad de determinar la composición de estas sales, formadas durante la cocción, porque para hacer un análisis es necesario empezar por disolver la cal cáustica en un gran exceso de agua, en cuya operación puede descomponerse parcialmente el silicato y el aluminato de cal y obtener su composición modificada por la acción del agua. Esto, sin embargo, no es grave inconveniente, por lo que al estudio de los productos hidráulicos se refiere, puesto que todos ellos se emplean mezclados con agua y en este estado en realidad tienen su mayor importancia.

Los análisis repetidos parecen demostrar que el silicato de cal hidratado puede representarse por la fórmula

$$Si\,O^3 + 3\,Ca\,O + 6\,H\,O$$

y que el aluminato se acerca á la composición

$$Al^2\,O^3 + 3\,Ca\,O$$

sin que se haya determinado de manera clara la proporción de agua que retiene cuando se hidrata en presencia de este líquido en exceso.

Para dar lugar á estas reacciones, sobre las que hemos de volver ampliando lo dicho al ocuparnos en general del notable fenómeno de la solidificación de los compuestos hidráulicos tratados por el agua, es claro que se hace preciso someter las calizas á una fuerte elevación de temperatura, que no es la misma, ni tampoco igual la duración de la cocción, cualquiera que sea la roca que se emplee. Según que la naturaleza de ésta sea eminentemente arcillosa ó sea esencialmente silícea, aquella duración deberá ser corta en el primer caso, y la temperatura á que se la someta elevada, mientras que á las calizas de la segunda clase les es muy conveniente un fuego moderado relativamente y de larga duración.

La razón es obvia. En el caso de emplear calizas arcillosas hay necesidad de asegurar la descomposición de las arcillas, y este fenómeno, como ya ántes lo hemos dicho, no tiene lugar sinó á temperaturas mayores de 700°C., es decir, á 800° ó 900° por lo ménos; pero para conseguir que toda la masa de piedra que se calcine alcance este grado de calor y penetre hasta el centro mismo de los fragmentos, hay necesidad de que la temperatura en la superficie de éstos sea de 1000° y hasta de 1100°.

Por otro lado, las reacciones que entre unos y otros elementos puestos en presencia se verifican, son muy vivas, y si la actividad de calor tan elevado se prolongase por mucho tiempo, la mayor parte de los compuestos formados se *pasarían de fuego* y los productos obtenidos serían distintos de los que se pretendiesen fabricar.

En las calizas silíceas las reacciones empiezan á tener lugar en el momento en que la disociación del ácido carbónico comienza; de manera que si la temperatura se elevase rápidamente, una buena parte de la piedra calcinada se pasaría igualmente de fuego ántes que el resto hubiese sufrido la transformación que se quiere obtener.

Otras muchas razones influyen también en la duración de la cocción y en la actividad del fuego que son hijas de lo que se puede llamar circunstancias locales y de costumbre de la fabricación. El que los fragmentos de la caliza sean de mayor ó menor grueso, el que el combustible empleado tenga condiciones distintas de pureza y de potencia calorífica, el estado mismo de la atmósfera y la mejor ó peor disposición de los hornos y su conducción, hacen que no sea posible fijar *a priori* de una manera precisa, aun cuando se conozca exactamente la composición química de la roca, cuál ha de ser en general ni la temperatura de los hornos de cal hidráulica ni el tiempo que ha de durar la calcinación.

Muchos son los sistemas de hornos que se han empleado en la industria para calcinar las piedras calizas y obtener las cales hidráulicas, aplicándose, puede decirse, en un principio los mismos que se conocían para la obtención de las grasas, si bien se han ido introduciendo en éstos algunas modificaciones que los han ido mejorando sucesivamente.

Todos los sistemas conocidos hasta hoy pueden, sin embargo, dividirse en dos grandes clases, dependientes de la manera que tienen de funcionar. Á la primera y más antigua de estas clases pertenecen todos

aquellos hornos que funcionan por intermitencia, es decir, aquellos en que después de cargados con todo el volúmen de caliza que pueden contener se les prende fuego, que se sostiene hasta la completa calcinación de la carga, se apagan por completo después y se procede á extraer la materia ya calcinada después de su enfriamiento. Á la segunda clase pertenecen, por el contrario, los que funcionan de una manera permanente ó contínua, renovándose constantemente las cargas de la caliza á medida que por otro lado se extrae la cal ya cocida.

En cualquiera de los dos sistemas generales de hornos, ya sean *intermitentes* ó ya sean *contínuos*, pueden aplicarse combustibles distintos de llama larga ó de llama corta, y esto hace que la verdadera división de los hornos de calcinación pueda hacerse en cuatro grandes grupos, que son:

1.° Hornos intermitentes para combustible de llama larga.
2.° Hornos intermitentes para combustible de llama corta.
3.° Hornos contínuos para combustible de llama larga.
4.° Hornos contínuos para combustible de llama corta.

En los de los primero y tercer grupo los fragmentos de caliza y el combustible están totalmente separados, ocupando cada uno de estos materiales cámaras distintas; en los de los segundo y cuarto grupo la caliza y el combustible se echan en la misma cámara por capas alternadas de uno y otro material.

Los hornos de calcinación intermitente con combustible de llama larga, están constituídos por una cuba de forma variada, debajo de la que hay uno ó varios hogares con sus ceniceros donde se pone el combustible, llenándose aquella con los fragmentos de piedra que se ha de calcinar. Por esta disposición, tan sucintamente descrita, bien se comprende que las capas inferiores de la caliza están expuestas en esta clase de hornos á una temperatura mucho más elevada que las capas superiores, y esto exige que los fragmentos vayan por capas superpuestas de dimensiones distintas ocupando los mayores la parte inferior.

Algunas disposiciones se han imaginado para evitar este inconveniente, entre ellas la propuesta y realizada por Vicat, consistente en dar á la cuba la forma de un cono, disponiendo en su base tres hogares laterales, cada uno de los que se enciende solamente la tercera

parte del tiempo que ha de durar la calcinación: de este modo las capas inferiores sólo estan sometidas á una gran temperatura la referida tercera parte del tiempo total, mientras que las superiores están todo él sometidas á la acción del calor de las corrientes gaseosas.

También se han adoptado en algunas naciones los hogares superpuestos, dividiendo la cuba en dos cámaras separadas por una bóveda de las llamadas de claraboya. El hogar principal está colocado en la parte inferior de todo el horno, que lo es también del compartimiento bajo y mayor, y el secundario lo está lateralmente y á la altura de la parte inferior del compartimiento superior.

Esta disposición produce una verdadera economía de combustible con relación á la que tienen los demás hornos intermitentes para combustible de llama larga.

Los hornos intermitentes para la calcinación con combustibles de llama corta, exigen que la caliza y el combustible estén en contacto, disponiendo uno y otro material en capas alternadas, cuyo grueso varía con la naturaleza de aquellos. Como regla general, puede decirse que las capas de combustible deben ser tanto más espesas cuanto mayor densidad tenga la piedra y mayor sea también su resistencia á la cocción, disminuyendo, como es natural, este espesor desde la parte inferior á la superior del horno.

Por el contrario, en virtud de que la combustión va propagándose de abajo á arriba en los hornos, y las capas superiores de la caliza están mucho más tiempo expuestas al calor, el espesor de las de piedra debe ir aumentando en sentido inverso que las de combustible, y los fragmentos más gruesos deben ocupar también las capas más elevadas del horno.

La forma que ordinariamente se dá á esta clase de hornos es la muy sencilla de un cilindro, ó á lo más la de un cono truncado cuya base mayor está en la parte superior; pero sea cualquiera esta forma, la regularidad de la cocción depende en gran parte del cuidado que se tenga en la buena é igual colocación de las piedras, disponiéndolas de modo que dejen el paso bien libre á los gases, y, sin embargo, que no permitan la caída del combustible menudo á través de los intersticios que necesariamente han de quedar entre aquellas.

El empleo de los hornos intermitentes está completamente en desuso en toda fabricación de cal hidráulica de alguna importancia, y se comprende bien que así sea, por el hecho mismo de no poder ser económicos, cualquiera que sea la disposición que se adopte, pues por lo menos todo el calor existente al descargar la hornada se pierde en el espacio, habiendo necesidad de esperar que se enfríen las mamposterías de la envuelta del horno para proceder á una nueva carga.

En ellos también la duración de la cocción, á igualdad de circunstancias, es siempre mayor, porque si bien las capas inferiores de la caliza se cuecen en un tiempo relativamente corto, hay que esperar que estén también cocidas las capas superiores para efectuar la descarga, resultando una pérdida de tiempo en la utilización de la cal ya producida en las capas bajas.

Los hornos para la calcinación contínua con combustible de llama larga, tienen ordinariamente la forma de cuerpos de revolución, que suelen ser, ó bien elipsoides, ó dobles conos unidos por sus bases mayores, colocándose en la parte inferior de las cubas constituídas por aquélla, ó á cierta altura, los hogares donde se quema el combustible.

Cualquiera que sea su forma, es conveniente que la altura total de la cuba, con relación á su diámetro medio, sea muy grande, para que el aprovechamiento del calor sea el máximo con un mínimo de combustible, porque de este modo los gases de éste abandonan en su marcha ascensional el mayor posible, y salen casi fríos desde el comienzo del funcionamiento del horno.

En todos los hornos de esta clase necesariamente deben disponerse en su parte inferior una ó varias aberturas para la descarga de la cal cocida, que se substituye con nuevas capas de caliza por la parte superior ó tragante del horno.

Entre los diferentes hornos de este sistema pueden citarse los de Rüdersdorf, que es realmente muy complicado, pues además de tener su cuba formada por dos troncos de cono en la forma antes dicha, con más de 14 metros de altura total, se halla rodeada de una torre de mampostería de forma piramidal, en donde existen varios espacios abovedados en cuatro pisos, de los que el primero y segundo se aprovechan para la desecación del combustible antes de su aplicación, y los otros

dos para almacenes y alojamientos de los obreros empleados en el cuidado de la marcha del horno.

Los hogares son en número de tres, situados á $2^m,20$ del fondo de la cuba, que es precisamente á la altura donde se halla la base mayor de los dos troncos de cono; y la extracción de la cal se efectúa por otros tres orificios abiertos en el fondo de la cuba, todos ellos, como los hogares, cerrados con puertas de palastro.

Algunas disposiciones especiales presenta este horno para su facilidad de funcionamiento, en cuyos detalles, muy bien estudiados algunos, no entramos, por que no es común ni económica su construcción.

El horno sistema Fink, muy empleado en el Hesse-Darmstadt, es una modificación del anterior, substituyendo la forma tronco-cónica de la cuba por otra elíptica, con una gran chimenea en su parte superior suprimiendo también la torre que envuelve el de Rüdersdorf.

Aunque hay otros muchos tipos de hornos del mismo género, en los que se han evitado los inconvenientes de los dos anteriores de ser muy caros en su construcción, como por ejemplo los de Chanard, Bidreman y Rancourt, puede decirse que son más bien de aplicación en localidades especiales donde se tiene la costumbre de construirlos, que de uso general, por lo que no creemos prudente entrar en su descripción.

Lo mismo en los hornos contínuos que acabamos de indicar ligeramente, que en los intermitentes en que la calcinación se efectúa con igual combustible de llama larga, el de esta clase más generalmente empleado es la leña, si bien pueden tener algunas aplicaciones la turba y ciertas clases de hullas. Cuando se emplea la primera no es prudente hacer uso de leña gruesa, porque el primer efecto que se produce al cargar un hogar en combustión con madera, es una destilación de los elementos volátiles y una evaporación de la humedad que contiene, cuyos elementos, no sólo desarrollan poco calor, sino que lo roban á la masa incandescente de la cal. Este efecto dura, como es natural, tanto más tiempo cuanto más gruesa es la leña empleada, porque se produce sucesivamente desde la superficie al centro, y de aquí que para procurar sea de muy corta duración dicho fenómeno perjudicial, conviene sean de muy poco grueso los trozos de leña.

Hay aún otra razón: las leñas gruesas producen mucha brasa y rela-

tivamente poca llama, de modo que los fragmentos de caliza próximos á los hogares sufren una cocción excesiva á expensas de los que se hallan lejos, mientras que con las leñas de monte bajo, que son las más apropiadas, la llama sube y reparte mejor el calor desprendido.

Los hornos verdaderamente interesantes para la fabricación de las cales hidráulicas son los que pertenecen al cuarto grupo de los antes enunciados, es decir, los contínuos de calcinación con combustible de llama corta. Todos los que en las grandes fábricas se hallan hoy en uso pertenecen á este sistema, por lo que los describiremos con algunos más detalles que los anteriores.

En estos hornos, lo mismo que en los intermitentes con combustible de llama corta, éste y los fragmentos de la caliza se disponen en capas alternadas, que para la regularidad de la cocción deben tener, en cuanto sea posible, igual espesor, para que por el hecho mismo de la continuidad de la operación, todas las piedras se encuentren sensiblemente expuestas al mismo grado de calor.

La forma más racional, sobre lo que diremos algo después de describir los sistemas más en uso, debe obedecer á que las secciones horizontales disminuyan gradualmente hacia la base, para evitar que en el descenso, por la contracción que sufre la caliza, se esparza el combustible, desapareciendo la homogeneidad de las capas de éste.

La marcha del fuego debe ser lo más regular posible, y si en los demás hornos, y principalmente en los intermitentes, se requiere habilidad en los horneros, en los contínuos esta habilidad debe ser suma para procurar que el calor se reparta igualmente en las zonas horizontales. Esto puede conseguirse vigilando en el tragante del horno la salida de los gases y la temperatura en los diferentes puntos de la capa superior y removiéndola donde convenga para formar canales de tiro que faciliten la combustión ó la detengan donde se juzgue conveniente.

Si por circunstancias excepcionales ó por conveniencia particular ó de organización de trabajos, se hace preciso suspender la marcha del horno algunos días, puede moderarse el fuego sin más que extender en el tragante una capa de carbón menudo de unos 10 centímetros de espesor, apisonándola después de mojada y cubriéndola con otra capa de piedra pequeña hasta conseguir que se reduzca el tiro tanto como se

quiera. Con esta sencilla operación se evita el enfriamiento del horno sin apagarlo y puede volver á su marcha normal, en cuanto se desee, con sólo quitar el obstáculo puesto á la salida de los gases.

A estos principios generales se sujetan los tres hornos que vamos á describir á continuación.

Horno Simoneau.—Este horno, que en sección vertical está representado en la figura 1, tiene la gran ventaja de poder funcionar con toda

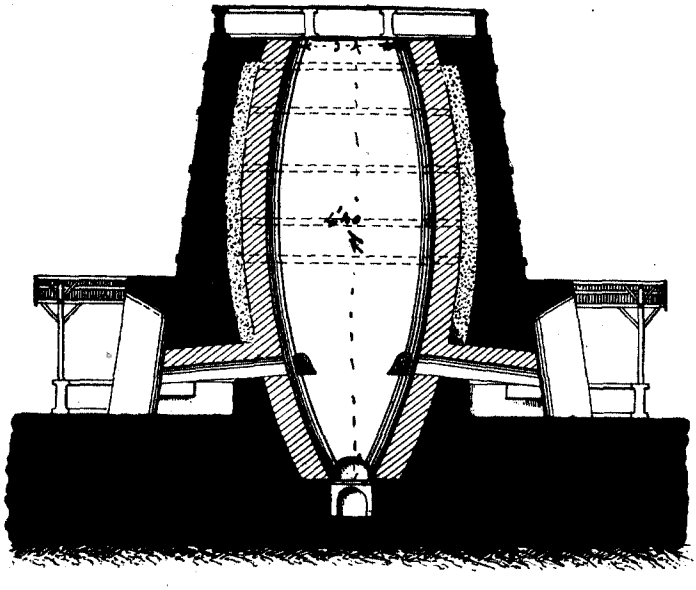


Fig. 1.

clase de combustible, dando un rendimiento muy superior á los usados generalmente y siendo de fácil construcción.

La cuba, cuya altura total es de 11 metros, está formada, como es natural, con ladrillo refractario y tiene la forma de un elipsoide de rerevolución desigualmente truncado en sus dos extremidades, siendo los diámetros de sus secciones superior é inferior, respectivamente, de $3^m,00$ y $0^m,80$ y la de la media mayor de $4^m,40$. Esta construcción está reforzada con un macizo de mampostería ordinaria, según lo representa el dibujo, quedando entre ambos cuerpos un espacio anular que se rellena con cenizas ú otro material poco conductor del calor, pero enlazando

las dos partes principales en la parte más elevada y en el tercio inferior para que el todo forme un solo cuerpo.

La superficie superior, á la que se dota de un pretil, se aprovecha para formar una explanada donde pueden maniobrar los operarios que cargan el horno.

En la parte inferior de la cuba, inmediatamente encima de la parrilla que separa aquélla del cenicero, se dispone lateralmente la boca de descarga, que desemboca en un espacio abovedado en el que se recoge la cal ya cocida. Tanto aquella boca como el cenicero están provistos de sus correspondientes puertas-registros de palastro.

A 3 metros por encima de la referida rejilla están abiertos cuatro conductos hogares, ligeramente inclinados, puestos dos á dos y colocados simétricamente á un lado y otro del horno, cuyo objeto es el de aprovechar este horno para el empleo de combustibles de llama larga, para dar fuego al horno y para volverlo á encender, una vez apagado, sin necesidad de descargarlo por completo. Para ello, en el punto medio de cada uno de aquellos conductos se disponen rejillas encima de sus correspondientes ceniceros y se construyen dos cobertizos para proteger de la intemperie las bocas, las que, igualmente que los ceniceros, tienen sus correspondientes puertas-registros de palastro.

Si se quieren utilizar en este horno combustibles de llama larga, se llena la cuba desde la parrilla inferior hasta el tragante con caliza, en fragmentos de 4 á 5 centímetros; se cierran los registros del cenicero central y de la boca de descarga y después de cargados con el combustible los hogares laterales y cerrados los registros de sus ceniceros para evitar la introducción de un gran volúmen de aire, se encienden los cuatro referidos hogares; al cabo de tres ó cuatro horas las llamas y el humo han atravesado toda la masa caliza que hay entre los conductos de aquéllos y el tragante, es decir, en una altura de 8 metros, y la calcinación de la piedra comienza, efectuándose en primer lugar la que está en las capas más bajas á partir de los repetidos conductos ú hogares.

Cuando á partir del comienzo del funcionamiento del horno se juzga que hay cantidad de cal cocida bastante para llenar el espacio de la cuba comprendido entre la parrilla inferior y las bocas de los hogares

laterales, es decir, la altura de los tres primeros metros de la cuba, lo cual suele suceder á las cuarenta y ocho á sesenta horas, se retira por la boca de descarga toda la caliza que en la primera carga ocupaba aquel espacio y que sale complatamente fría, descendiendo en virtud de su propio peso toda la masa de la carga restante. Como al efectuarse este descenso, precisamente por la forma muy bien estudiada del horno, la cal que se halla cocida por completo llena exactamente el espacio que ha dejado libre la caliza descargada, aquella ya no sufre en lo sucesivo los efectos del calor y nuevas capas con cierto grado de calcinación son las que desde este momento sufren la acción inmediata de las llamas, quedando á las veinticuatro horas próximamente cocidas por completo y en disposición de efectuar una nueva descarga, en la que ya sale la primera cal en buenas condiciones.

Dicho se está que á medida que se efectuan descargas por la parte inferior del horno, debe llenarse el hueco que queda en la superior con nuevas capas de caliza, partida igualmente en fragmentos de la misma dimensión antes dicha, efectuándose ambas operaciones lo más simultáneamente posible.

Si en el horno, y esto es lo más general, se ha de emplear combustible de llama corta, el procedimiento, aunque en un todo análogo, difiere en sus detalles. El fondo de la cuba hasta los hogares laterales se llena igualmente con caliza en fragmentos; encima de esta masa se dispone, cuando se va á proceder á hacer funcionar el horno, una capa de $0^m,50$ de espesor de leña delgada y sobre ésta una cierta cantidad (3 ó 4 hectólitros) del carbón que haya de usarse en lo sucesivo; después una nueva capa de caliza, otra de carbón y así sucesivamente hasta el tragante. Dispuestas de este modo las cosas se cargan con leña también menuda los hogares laterales y cerrados todos los registros se prende fuego á estos últimos, los que lo comunican á la leña de la capa interior y ésta lo transmite al carbón, continuando después la operación enteramente igual á la descrita antes, sin más variación que, una vez hecha la descarga de la caliza fría que ocupa el fondo de la cuba, por el tragante deben cargarse capas alternadas de caliza y carbón.

Como se vé, en este caso los hogares laterales no desempeñan otro papel que el de poner en marcha el horno y después facilitar la combus-

tión del carbón interior por el aire que por ellos entra, reglado convenientemente por medio de sus registros.

En los hornos de este género, construídos por nosotros y que funcionan con combustible de llama corta, los cuatro hogares laterales los hemos reducido á dos de pequeñas dimensiones, para evitar un exceso de aire en el interior; y en cambio los hemos aprovechado para introducir en el interior de la cuba por ellos una ligera cantidad de vapor de agua, que, atravesando toda la masa caliza, favorece el desprendimiento del ácido carbónico, ejerciendo el papel de gas inerte que arrastra á aquel sin permitirle que continue en conctacto con la cal ya cáustica.

El ligero gasto que ocasiona la producción del calor de vaporización está compensado con exceso por las ventajas obtenidas.

Horno de Lafarge del Teil.—Los hornos de esta fábrica, que ordinariamente se toman como modelo en este género de industria (fig. 2), tie-

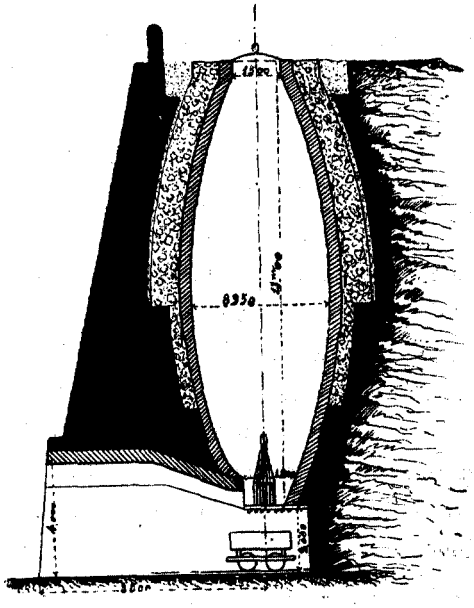


Fig. 2.

nen una altura variable, pues ha ido aumentando desde la creación de la fábrica, aumento que sólo ha respondido á su progreso económico, sin influir en la calidad del producto, fundándose, para conseguirlo, en el principio hoy admitido en la práctica de que en estos hornos, á medi-

da que es mayor su altura, la cal sale más fría en las descargas períodicas, y todo este calor que pierde se aprovecha en calentar el aire ántes de llegar á la capa en que se efectúa la cocción, saliendo, por el contrario, los gases por el tragante tanto más fríos cuanto su recorrido á través de las capas superiores sea mayor.

La altura de los hornos modernos de Lafarge del Teil es de 13 metros desde la parrilla inferior al borde del tragante y de $12^m,50$ hasta la arista superior de la cuba propiamente dicha, cuya forma interior es la de dos troncos de cono unidos en sus bases mayores por una curva circular de gran radio, lo que dá al conjunto el aspecto ovóideo.

El diámetro de la sección mayor, situado á algo ménos de la mitad de su altura, es de $3^m,95$, y el de las secciones superior é inferior de $1^m,500$ y $1^m,800$, resultando de una cabida de 75 metros cúbicos.

Lo mismo que en el horno Simoneau la cuba construída con ladrillos refractarios de primera calidad está envuelta, primero, por otra capa de materiales refractarios ya usados y procedentes de derribos anteriores, después por una ligera capa de arena y, finalmente, por un macizo de mampostería ordinaria que une á todos los que forman la batería en número de 45, agrupados de cuatro en cuatro.

La puerta de descarga se abre también en el frente del horno, á la altura de la parrilla inferior, desembocando en un gran espacio abovedado, debajo del que entran los vagones de servicio. Sobre la parrilla referida está montado un cilindro con una larga caperuza cónica, hecho con varillas de hierro, cuyo doble objeto es el de dividir la cal facilitando la descarga, y dar ámplia entrada al aire que aviva la combustión.

La carga de los hornos se hace por capas alternadas de caliza y carbón, en la relación de 1650 kilógramos de aquella, que viene á producir una tonelada de cal viva por 120 kilógramos de combustible. Con estos materiales se obtienen cada veinticuatro horas 18 toneladas de cal, de las que se sacan 16 de día y 2 de noche, éstas para mantener el horno en buena marcha.

Horno de Malain.—La fig. 3 representa uno de estos hornos en batería, con otros á derecha é izquierda. La altura de la cuba es de $7^m,50$, y los diámetros de sus secciones de $2^m,40$ la de la mayor, $1^m,50$ la de la inferior, y $1^m,25$ la de la superior del tragante. Su camisa afecta una for-

ma interior muy parecida á la de los hornos de Lafarge del Teil, estando construída con ladrillos silíceos recocidos, envuelta la cuba con una capa de piedra suelta en pequeños fragmentos, y rodeado el todo por una construcción general de mampostería ordinaria común para toda la batería de hornos.

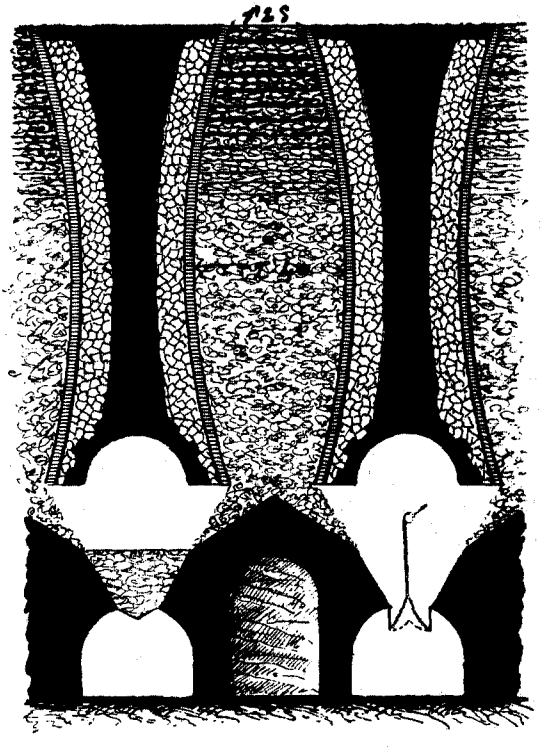


Fig. 3.

En estos, las bocas de descarga están substituídas por dos planos inclinados que van á parar á pequeños depósitos, situados uno entre cada dos hornos, los cuales á su vez tienen una trampilla inferior sobre un espacio abovedado, donde entran las vagonetas para la carga. Con esta disposición, bien detallada en la figura, las descargas sucesivas de cada horno se reparten entre las dos cámaras adyacentes, de modo que, realmente, en cada una de estas se recoge la correspondiente á un solo horno, puesto que se reune en ella la mitad de lo producido por dos hornos contiguos.

La carga por capas alternadas de caliza y carbón, se efectúa como en los otros, y la producción diaria que se obtiene es muy próximamente la del tercio de la capacidad total del horno.

En los tres sistemas descritos se emplean para detener la marcha de los fuegos durante los días festivos, unos casquetes de palastro que se colocan sobre el tragante, disminuyendo con ello el tiro ordinario.

Además de los sistemas pertenecientes á los cuatro grandes grupos en que hemos dividido los hornos, se han ideado otros que, aunque no han llegado á tener su verdadera aplicación para la fabricación de cales hidráulicas, no por eso dejan de presentar novedad, si bien no están dentro del cuadro que nos hemos trazado en este trabajo, y por eso no describimos. Entre ellos pueden citarse, á título de curiosidad, los hornos de circulación contínua de Hoffmann, Simón y otros autores, que, aunque destinados principalmente para productos cerámicos, pueden emplearse en la cocción de las cales, y que, como es sabido, están compuestos de galerías circulares ó rectilíneas, divididas en compartimientos separados por compuertas móviles, en los que el fuego pasa de unas á otras, valiéndose de registros, y la temperatura aumenta sucesivamente desde uno de ellos, donde se hace la carga, hasta el intermedio donde el calor es máximo, para disminuir luego hasta el de descarga; el horno Swan, que fundado en el mismo principio difiere de los anteriores en que el combustible, en vez de estar mezclado dentro de los compartimientos con los productos que hay que cocer, arde sobre una rejilla sin fin del sistema Tailfer; el horno túnel de Bock, los de gas y los que utilizan el calor perdido en otras industrias.

Todos los hornos reconocidamente buenos para su empleo en la cocción de las cales hidráulicas, obedecen en su construcción á ciertos principios que resultan de las necesidades que deben llenar, y que tácitamente se deducen de lo expuesto antes: en su forma tienen necesariamente que presentar secciones cada vez menores desde el punto en que empieza á verificarse la disociación del ácido carbónico, hasta aquel en que todo este gas ha desaparecido, tanto porque al quemarse el carbón, el volúmen del conjunto disminuye en casi todo lo que ocupa éste antes de su combustión, cuanto porque, según ya queda dicho, la piedra se contrae al calcinarse.

Vicat recomendó ya en sus estudios el cono truncado para los hornos de cuba, y Herve-Manjon preconizó esta forma como de excelentes resultados; pero bien pronto se echó de ver que aceptándola en absoluto el tragante del horno resulta con dimensiones exageradas, que dan lugar á una gran pérdida de calor por su gran superficie de radiación, y á la vez, para que el grueso de mamposterías sea aceptable en la parte más elevada, la envuelta total, por más que sea cilíndrica, exige un cubo de mamposterías enormes.

Estos inconvenientes trajeron la modificación racional de dar á la cuba la forma de un doble cono truncado con base común y de aquí la ovóidea en cuanto se quiso redondear el ángulo entrante formado en dicha base.

Las secciones horizontales parece lógico que deben ser círculos, siquiera sea porque á igualdad de desarrollo presenta la mayor superficie interior, y de aquí mayor volúmen de cabida; además, mecánicamente considerada la construcción, con esta forma presenta también el máximun de resistencia con relación á los empujes exteriores que pueda haber.

IV.—**Apagado de la cal.**

Terminada que sea la cocción de la caliza, hay que proceder á su apagado, cuya operación es necesario efectuar con cuidado para que ni peque por defecto ni por exceso la cantidad de agua empleada en esta operación. Si la que en ella se emplea es poca, claro es que una parte mayor ó menor de la cal quedará en el mismo estado que tiene al salir del horno; y sus partículas, envueltas en cal apagada, pueden hidratarse á su vez con expansión mucho tiempo después de fraguar el mortero, comprometiendo la solidez de la obra en que se emplee. Si el agua es por el contrario excesiva, la cal sufre al apagarse un principio de fraguado que le quita casi todas sus cualidades de bondad.

En el apagado hay que procurar también que al hidratarse la cal no se descompongan las sales que le dan caracteres hidráulicos, cuyo resultado no puede obtenerse, según lo ha demostrado Mr. Le Chatelier, mas que haciendo que el fenómeno se produzca en un medio de temperatura

elevada en el que el agua se transforme en vapor, en cuyo estado aquel líquido no tiene acción alguna sobre los silicatos, teniéndola muy activa sobre la cal cáustica, los aluminatos y los ferritos.

Esta elevación de temperatura se consigue por los caracteres mismos del fenómeno de la hidratación, que se verifica siempre con desprendimiento de calor, pero el problema está en evitar que este calor se pierda en la atmósfera. Para ello conviene hacer el apagado en grandes montones que conserven lo más posible la temperatura producida, cosa que por cierto no se usa entre nuestros albañiles en España, donde parece hay interés en estropear las cales grasas usadas en las obras, ora rociándolas con enormes cantidades de agua, ora dejándolas expuestas en capas delgadas sobre las eras de extinción por días y días y no amontonándolas hasta que creen que ya están convertidas en polvo, resultando de este modo granzas en mucha mayor cantidad de las que debían resultar.

En las fábricas de cales hidráulicas, cuando éstas salen de los hornos, se las lleva inmediatamente bajo grandes cobertizos dispuestos de modo que no haya que temer los vientos fríos y allí se la extiende sobre el suelo en una capa de 15 centímetros de espesor, rociándola inmediatamente con regaderas hasta que toda la cal extendida tiene la suficiente para su completo apagado. La práctica solamente es la que puede señalar la cantidad de agua necesaria, sin que se caiga en ninguno de los defectos ántes señalados.

Terminada que es esta operación, y sin dar casi tiempo á que empiece el desprendimiento de vapor, se procede á reunir toda la cal extendida y rociada formando montones de 2 á 3 metros de altura, en cuyo estado queda por un período de tiempo variable entre ocho y quince días, que también la prática dice cuál ha de ser, en el que toda la cal que se halla en perfecto estado de cocción se reduce á polvo expontáneamente, pudiendo pasar acto seguido á la siguiente operación.

V.—**Tamizado.**

Los materiales que resultan en los montones hechos para el apagado son, por regla general, cal hidratada y en buenas condiciones de em-

pleo, fragmentos que han sufrido un exceso de calor y otros que la temperatura á que han estado expuestos no ha sido suficiente para la disociación de su ácido carbónico. De estos tres elementos sólo el primero es el que responde desde el primer momento á su objeto; los otros dos hasta hace muy poco tiempo, relativamente, se consideraban como perjudiciales, y separándolos por medio del tamizado se les desechaba en absoluto. Ya veremos después que con ellos se ha llegado á aprovechar una buena parte en la cal misma y con la otra se fabrican nuevas variedades de productos hidráulicos de gran aplicación.

Para proceder á la separación antedicha, la primera operación que se hace es echar la cal sobre una rejilla, cuyos claros tienen de 2 á 6 centímetros de ancho: de este modo los fragmentos mayores, no apagados, quedan en la parte superior, cayendo todo lo demás, que acto seguido se lleva á los tamizadores, que aunque de varias formas y disposiciones, unos cilíndricos, otros cónicos y otros prismáticos, todos giran al rededor de un eje ligeramente inclinado y tienen su superficie exterior formada con una tela metálica de los números 40 ó 50 (1). Por virtud de la rotación que se imprime á estos tamizadores las partes finas pasan al través de las mallas y caen en cajas que los envuelve, y las que por sus dimensiones no las pueden atravesar van á salir por la parte más baja del eje de rotación, por cuya parte más elevada han entrado todos los materiales.

Toda la materia que pasa á través de las telas metálica constituye la flor de la cal y es el producto más apreciado, teniendo aún parte de algunos constructores la idea de que sólo es aceptable como buen material el resultado de esta operación.

En la mayor parte de las fábricas, no es sólo ese producto el que se pone á la venta, y su decisión es perfectamente racional. En primer lugar las granzas conservan adherida á su superficie alguna parte de cal de flor, y en segundo lugar, una parte de ellas llegan á apagarse al cabo de cierto tiempo; conviene, pues, hacerles sufrir una especie de descor-

(1) Las telas metálicas se venden en el comercio por números que representan los hilos que entran en la pulgada inglesa. La tela del número 40 contiene 220 mallas por centímetro cuadrado; la del número 50, 324 mallas; la del 80, 900 mallas; la del 135, 2500; la del 200, 5000 mallas y la de seda que se emplea para el polvo impalpable.

tezamiento, lo que se efectúa haciéndolas pasar por entre cilindros cada vez ménos separados á partir de 15 ó 16 milímetros, y sometiendo el polvo desprendido á los mismos tamizadores empleados para la cal recién apagada. El material resultante es en un todo análogo al primero obtenido, y no hay, por consecuencia, inconveniente alguno en incorporarlo á él.

En las fábricas del Teil aún se ejecuta otra adición, que la experiencia ha demostrado ser de positiva ventaja el hacerla. Se ha visto, en efecto, que la parte más friable de las granzas, reducida á polvo fino y mezclada con la flor de cal, aumenta en algo el índice de hidraulicidad y la resistencia ulterior, procediendo al parecer este efecto de que la composición química de los dos polvos que se mezclan es casi idéntica, y sobre todo que el fraguado comienza al mismo tiempo en ambos. Donde así no suceda la operación es un poco arriesgada, porque podría dar lugar á un compuesto tan heterogéneo en su manera de obrar, que el producto resultante no presentase ninguna de las cualidades de bondad que son de exigir. Tal vez á esta causa obedezca el hecho de que en algunos autores de materiales de construcción se desechen como inadmisibles estas mezclas.

VI.—**Envasado.**

Hemos dicho anteriormente que los tamizadores suelen estar envueltos por cajas, donde se recoge el polvo de la cal, y unidas á aquellas están generalmente las tolvas, por medio de las que se envasan las cales en sacos de peso determinado. En las fábricas bien montadas, la operación de cerrar la tolva cuando ha dejado pasar el peso normal se verifica automáticamente; en otras esta operación se hace á mano, pero en todas se tiende á que se verifique con la mayor precisión posible.

CAPÍTULO III.

FABRICACIÓN DE LAS CALES HIDRÁULICAS ARTIFICIALES.

I.—Importancia actual de esta industria.

Las cales hidráulicas artificiales fueron natural consecuencia del conocimiento adquirido de la acción que cada uno de los componentes de las calizas hidráulicas tienen en la propiedad de solidificarse bajo el agua las cales producto de aquellas calizas. En la época en que Vicat se dedicó, con tan brillantes resultados, al estudio de estos productos, las canteras naturales conocidas de la piedra útil para el objeto eran escasísimas, y aquel ingeniero se vió en la necesidad de buscar la manera de producir cales artificiales que, pudiéndose fabricar en los puntos mismos donde debieran emplearse, resultaran á precios admisibles para el comercio, cosa que en manera alguna se podía conseguir teniendo que sufragar los enormes gastos de transporte á que daban lugar las canteras naturales ya probadas.

En la actualidad las circunstancias han variado por completo: en primer lugar, se ha podido reconocer que los yacimientos de calizas arcillosas y silíceas son numerosísimos y la industria de las cales hidráulicas naturales puede establecerse fácilmente en casi todas partes; en segundo, aun cuando así no sea ó no se considere conveniente su establecimiento por ser pequeño el consumo de la localidad, los transportes se han abaratado notablemente, gracias á nuestros modernos medios de locomoción, y aquello que en el año 1820, fecha de los estudios de Vicat, representaba gastos de importancia, en la época en que escribimos apenas debe tenerse en cuenta, pudiendo todo consumidor de cales hidráulicas acudir hasta los puntos más lejanos de producción sin temor de que el precio resultante en el lugar de consumo pase de límites razonables.

Estas consideraciones nos han hecho dudar, antes de ocuparnos en escribir este capítulo, si debíamos prescindir de él; pero la circunstancia de hallarnos en España, donde, por sensible que sea decirlo, hay que conceder que nos falta mucho por hacer en nuestras líneas de comunicación, sobre todo en las transversales, y esto por si sólo puede dar lugar á gastos excesivos, unido á que en algún caso puede ocurrir, considerando militarmente la cuestión, que sea necesario valerse de los recursos propios del país para ciertas obras de defensa, nos ha hecho decidir á dar ideas generales sobre la repetida fabricación de esta clase de cales, que podrán ó no tener alguna aplicación, pero que siempre servirán para marcar el paso importante que en la historia de los materiales hidráulicos representaron los indicados estudios de Vicat.

Como quiera que, según ya dejamos dicho en su lugar, la arcilla es el compuesto que se consideró como orígen de las propiedades hidráulicas de la cal, la tendencia que siempre hubo fué la de mezclar los carbonatos de cal unas veces, y la cal otras, con los silicatos de alúmina, dando esto lugar á dos procedimientos distintos para la fabricación de las cales hidráulicas artificiales, llamados de *simple cocción* y de *doble cocción.*

II.—Procedimiento de simple cocción.

Este procedimiento consiste sencillamente en mezclar íntimamente la caliza reducida á polvo lo más fino posible con la arcilla, igualmente dividida, en proporciones variables según el índice de hidraulicidad que se desea, formando con el conjunto una pasta que se moldea en forma de ladrillos y someter éstos, una vez desecados, á la cocción.

Para efectuar estas operaciones no todas las calizas son convenientes, pues para que la pulverización sea perfecta es necesario elegir cretas, margas friables ó cualquier variedad de piedra que pueda pulverizarse fácilmente y que sea susceptible de formar con el agua una pasta fina y ligada. Las arcillas convienen asimismo que sean puras, y lo mismo uno que otro mineral deben ser lo más homogéneos posible en su composición, para que el compuesto resultante lo sea también.

Elegidos ambos componentes, antes de proceder á la fabricación de

la cal, se parten en pequeños fragmentos, que no pasen de cuatro centímetros de lado, y mezclados en las referidas proporciones convenientes, se trituran con agua en molinos verticales generalmente, hasta obtener una masa casi líquida en la que no se distinga de una manera clara cada uno de los elementos mezclados. Hecho esto, se hace pasar todo á una série de estanques de decantación donde se van depositando sucesivamente las materias sólidas, las que una vez libres del agua que las tenían en suspensión, se moldean en gradillas á propósito, dándoles la forma de ladrillos, y se dejan secar bien al aire libre ó en secaderos á propósito hasta que hayan perdido toda el agua que conservan al salir de los estanques. En estas condiciones de sequedad se hallan ya dispuestos para cocerse, cuya operación puede efectuarse en cualquiera de los hornos descritos para las calizas naturales.

Este procedimiento es relativamente económico, puesto que no exige más consumo de combustible que el de la cocción definitiva de la mezcla, pero tiene el inconveniente de que el polvo de la caliza que se obtiene en los molinos no puede tener la finura deseada para que la mezcla con la arcilla sea todo lo íntima que sería de desear.

Si la caliza empleada no fuese de la condición de blandura á que nos hemos referido antes, tampoco el procedimiento sería económico, puesto que el gasto á que darían lugar los molinos para reducirla á polvo, compensaría con exceso el que produce la doble cocción, que luego describiremos; así es que, cuando no se puede obtener piedra de aquella condición, se prefiere este último procedimiento en las fábricas en que, como producto secundario, se dedican á la industria de las cales artificiales.

En Francia aún existen, entre otras, las fábricas de Meudon, de Saint-Malo y de Chartres, que emplean el procedimiento de simple cocción, y en ellas mezclan generalmente para fabricar la cal hidráulica, cuatro partes de creta y una de arcilla, obteniendo, según Mr. Knapp, un producto cuya composición química es la siguiente:

Cal			74,61
Arcillla	Sílice	15,86	23,79
	Alúmina	7,93	
Oxido de hierro			1,60
			100,00

lo que da un índice de hidraulicidad de cerca de 0,32.

III.—**Procedimiento de doble cocción.**

Este procedimiento consiste tan solo en el empleo de la cal apagada en vez de la caliza para la mezcla con la arcilla. Para ello hay necesidad de empezar por producir dicha cal, lo que exige una primera cocción, apagar aquel material, unirlo á la arcilla y formar los ladrillos, que deben cocerse de nuevo, de igual manera que los de que hemos hablado en el procedimiento de simple cocción.

En este método, que es el que se sigue modernamente cuando hay necesidad de acudir á la fabricación artificial, se emplean molinos para hacer la mezcla de la cal apagada con la arcilla, hasta formar una papilla líquida con el auxilio del agua: Vicat hacía su mezcla por pequeñas porciones formando en una era dispuesta al efecto tantos montones de un cuarto de metro cúbico de cal, préviamente apagada, como lo permitía la extensión de aquélla; abría en cada uno de estos montones un hueco en embudo, y dentro de éste echaba un barro fluido hecho con treinta decímetros cúbicos de arcilla y el agua suficiente para que, batiendo luego todo el conjunto de cada montón, resultase una pasta medianamente dura, que despues de algunos días tomaba consistencia bastante para poder dividirla en fragmentos del tamaño conveniente para la cocción.

Cualquiera que sea el procedimiento que se emplee, los gastos de la primera cocción para obtener la cal lo hacen muy oneroso, y sólo en casos muy excepcionales deberá acudirse á él, bien por que no se tengan medios hábiles para triturar las calizas, bien por que estas sean exageradamente duras, ó bien por que se disponga de recursos locales por los

que el combustible tenga poco ó ningún valor, y la mano de obra tampoco deba entrar en línea de cuenta más que por cantidades insignificantes.

Hay que hacer notar, al lado de los inconvenientes del procedimiento de doble cocción, que las cales hidráulicas que con él se obtienen son de mucha mejor calidad que las que resultan en el de simple cocción, hasta el punto que, bien dirigida la operación, llegan á confundirse aquéllas con las cales hidráulicas naturales más acreditadas.

La proporción de arcilla que Vicat usaba para la fabricación de las cales hidráulicas artificiales, y que antes hemos señalado, no puede ni debe tomarse como absoluta en las mezclas que se confeccionen, antes muy al contrario, aquella proporción debe subordinarse á la clase y composición de la cal que se emplee, y al índice de hidraulicidad que se quiera obtener. Asimismo no debe despreciarse la cantidad de agua de cantera que tengan ambos elementos componentes de la mezcla, cuando se haga uso de las calizas, ó la que tengan las arcillas cuando se apele al procedimiento de doble cocción. Experiencias directas, si no se tienen á mano los medios usuales de laboratorio, y mejor éstos unidos á aquellas experiencias, pueden proporcionar un seguro acierto en la industria en grande.

En todos casos se debe atender á que la arcilla se utilice por completo en el producto obtenido, y para ello la cocción debe vigilarse con esquisito cuidado para no rebasar ni quedarse por debajo de la temperatura conveniente á la mezcla, pues los fragmentos que resultaran poco cocidos ó los que resultaran con un principio de vitrificación, además de tener los mismos inconvenientes señalados para las cales hidráulicas naturales, darían lugar á granzas de poca ó ninguna aplicación posterior.

La naturaleza misma del combustible empleado en los hornos puede también tener consecuencias inconvenientes para el producto. Mr. Signarile ha demostrado que empleando una mezcla de arcilla y cal en proporciones perfectamente definidas, podía obtenerse una inmejorable cal hidráulica si los ladrillos se cocían con leña de monte bajo, mientras que si la cocción se efectuaba con una hulla sulfurosa, el producto resultante, á pesar de que presentaba caracteres inmediatos de buena

calidad, y su fraguado parecía ser perfecto al segundo ó tercer día, en cuanto pasaban cinco ó seis, en vez de aumentar en resistencia, se deshacía el mortero en forma de barro. Analizada la cal, pudo darse cuenta aquel profesor que contenía una gran cantidad de sulfato cálcico, formado durante la cocción, cosa que no sucedía con la cocción con la leña. Hay, pues, que evitar como principio general el empleo de combustibles que lleven consigo compuestos sulfurosos.

CAPÍTULO IV.

FABRICACIÓN DE LOS CEMENTOS

DE GRANZAS.

I.—Orígen de esta clase de cementos.

En el párrafo V del Capítulo II, al ocuparnos en describir las operaciones del tamizado de la cal, ya hemos visto que hay una parte de las granzas que pueden aprovecharse en la cal misma, pero siempre queda de ellas una porción bastante importante que parecía no tener ninguna aplicación, hasta que habiéndose observado por los propietarios y directores de la fábrica de Lafarge, del Teil, que algunos de sus mismos obreros aprovechaban aquellos resíduos para hacer el mortero con que levantaban sus viviendas, se dedicaron con empeño especial al estudio de las condiciones que reunian las granzas para su aplicación industrial, y después de detenidos ensayos y análisis pudieron convencerse de que en su composición entraban los principales elementos de los mejores cementos Portland, con una proporción mayor de cal, compensada por las facultades puzolánicas de los elementos vitrificados.

Este exceso de cal aparece realmente como de positiva inconveniencia, pues sabido es que á él deben muchos cementos las hiendas que se producen al cabo de algun tiempo y que son resultado de la expansión lenta de aquella materia; pero las operaciones á que se someten las granzas para la fabricación, han logrado hacer desaparecer tal defecto, y hoy se buscan los cementos fabricados por la sociedad J. & A. Pavin, de Lafarge, que explota las grandes fábricas de Turgan, por todos los industriales que se dedican á la confección de baldosines y mosáicos hidráulicos, de los que tenemos buenas muestras en España, principalmente en Barcelona, Bilbao y Valencia.

II.—Procedimientos de fabricación.

Una vez que se ha conseguido obtener de las granzas la mayor cantidad posible de cal aprovechable para unirla á la flor aumentando la producción de ésta ó formando sola otra variedad comercial, queda solamente de aquellas granzas una especie de arena gruesa, que es la utilizable para el cemento, como lo demostraron las experiencias de Mr. L. Chatelier, quien al someter los granos de aquella arena al microscópio polarizador pudo convencerse de que cuando están bien preparados ofrecen la constitución misma que tienen algunos cementos conocidos, presentando los cristales de silicato de cal perfectamente desarrollados, muy próximos unos á otros y aglutinados entre sí por una materia amorfa de color obscuro.

La primera operación á que en la fábrica del Teil se somete esta arena de cemento, es la de una extinción lenta al aire libre, para lo que se la dispone en montones bajo cobertizos abiertos lateralmente durante treinta á cuarenta días. Conviene que el aire atmosférico posea un grado higrométrico bastante pronunciado para que las partículas de cal viva que puedan contener aún las granzas se apaguen por completo y se desprendan. Así sucede en efecto durante la exposición, pues los granos se cubren de eflorescencias, que realmante no son otra cosa que una cal hidráulica cuya densidad es mayor que la que tiene la producida anteriormente. Dicha *cal pesada*, que así la llaman los fabricantes, suele resultar próximamente en la cantidad del 8 por 100 de las granzas y se la separa de éstas por un tamizado para aprovecharla más tarde en la confección de un nuevo cemento llamado blanco.

Las granzas propiamente dichas, que después de esta última operación quedan, tienen un grueso excesivo para su empleo en los morteros y hay necesidad de someterlas á una trituración entre dos cilindros muy próximos que las reduce á un polvo bastante fino para que pudiera entregarse el producto al comercio con el nombre de cemento de granzas, muy apreciable para la confección de piedras articiales por su color grís claro, su fraguado muy lento y su extremada resistencia; sin embargo, la experiencia ha demostrado que se mejoran considerablemente sus pro-

piedades haciendo pasar el polvo obtenido á través de un tamíz con tela metálica del número 100, el cual divide el total de la materia en dos partes, una representada por el 90 por 100 próximamente, que no pasa por las mallas y que se reserva como base del cemento, y otra del 10 por 100 restante, á que se le dá el nombre de arenilla de cemento, que se tritura más aún en el molino Lubac, de fuerza centrífuga y que ya describiremos en lugar más adecuado, haciéndolas pasar por él una ó dos veces y tamizando el polvo obtenido por telas del número 120.

Este polvo, parte eminentemente activa, se mezcla con el primitivamente reservado después del primer tamizado, pero no se hace hasta después de algun tiempo, variable según la estación, que se tiene encerrado en depósitos subterráneos.

Parece en realidad cosa sencilla el triturar las granzas para producir el polvo de cemento, y es, sin embargo, operación delicada y que por sí sola puede hacer que las cualidades del producto varíen totalmente, efecto de que, según que la alimentación de los molinos sea excesiva ó deficiente y que la velocidad de rotación sea lenta ó exagerada, puede suceder que el calor desarrollado mecánicamente en la materia sea poco apropiado para que el agua higrométrica apague los resíduos casi microscópicos de cal que aún puede haber en la materia que se pulveriza y queden aquellos en estado cáustico, produciendo males irremediables por lo expansivos que son cuando se hallan ya aplicados en obras.

El cemento blanco no es más que una variedad del grís y su fabricación se hace del mismo modo, si bien con algún mayor cuidado en su trituración, pues toda la arena proviniente de granzas escogidas se somete al molido y tamizado al través de telas del número 120. Por esta razón, la finura del polvo es mayor que en el cemento ántes descrito, adquiriendo el color blanco, con que se le distingue en el comercio, por la mezcla que ántes de salir de la fábrica se hace con cierta proporción de cal pesada, obtenida, según ya ántes hemos dicho, por la extinción lenta á que se someten las granzas.

En todas las fábricas de cal situadas en la cuenca alta del Ródano, lo mismo que en las de la región del Teil, se producen cementos de granzas siguiendo sistemas en un todo análogos á los descritos, aunque ménos minuciosos y estudiados. En una de las fábricas de Virieu-le-

Grand (Ain), la extinción de la cal que está unida á las granzas se acelera rociándolas ligeramente cuando se dejan bajo los cobertizos; se llevan aquellas después á molinos de trituración, y tamizando el polvo por telas del número 60, lo que pasa á través de ellas constituye un cemento grís claro, que se expende al comercio después de dejarlo reposar en depósitos subterráneos ó silos durante tres meses, y lo que queda en la parte interior de la tamizadora, constituído por granos negros de caliza vitrificada, es lo que sirve, después de expuesto al aire por algún tiempo y triturado de nuevo en molinos más pesados, para fabricar otra clase de cemento cuyo polvo se hace pasar por telas del número 80, y se deposita en silos durante seis meses lo menos. El color de este cemento es grís muy obscuro.

CAPÍTULO V.

FABRICACIÓN DE LOS CEMENTOS

DE FRAGUADO RÁPIDO.

I.—Historia de estos cementos.

En 1796, cuarenta años después que Smeaton había indicado la necesidad de la existencia de la arcilla para que una cal se endureciese bajo el agua, Parker se ocupaba en ensayar la preparación de un cemento calcinando las masas reniformes que existen en las capas de arcilla situadas por debajo de la de creta en las orillas del Támesis, y como consecuencia de aquellos ensayos formó una Sociedad, con la razón social Parker, Wyat and C.º, para explotar los cementos que había visto se podían fabricar, á los que dió el nombre de cementos romanos, que impropiamente han conservado después.

Algún tiempo después un ingeniero militar francés, Mr. Lesage, hacía ver las propiedades hidráulicas de las calizas compactas de Boulogne-sur-Mer, y fabricaba con ellas una materia hidráulica que la llamó *yeso-cemento*, sin embargo de ser el mismo que el de la fabricación inglesa de la Sociedad Parker. Lo mismo uno que otro fabricante sometían sus calizas á una temperatura poco elevada, y el producto obtenido después de la cocción, que no se apagaba con el agua, lo pulverizaban mecánicamente.

Al decir de Mr. Caudlot, en 1825 fué cuando esta industria se estableció con fundamentos sólidos en Pouilly, y poco después en las regiones de Vassy y de la Isère, en Francia; en Zumaya y San Sebastián, en España; en Bergamo y Casale, en Italia, y en varios puntos de Rusia, Suiza y Alemania.

En todos ellos, el producto que se expende al comercio viene á ser el mismo cuando se pide con el nombre verdadero de cemento rápido; pero

no sucede igualmente cuando se le da el de cemento romano, sobre todo en Alemania, pues allí se conoce también con este nombre el cemento natural de fraguado lento, que en la clasificación que hemos adoptado corresponde al llamado en Francia, y entre nosotros, cemento Portland natural.

II.—Fabricación de los cementos de fraguado rápido.

Los cementos de fraguado rápido pueden fabricarse, lo mismo que las cales hidráulicas, natural y artificialmente, si bien este último medio no tiene buena aplicación en la industria, porque los gastos que origina la preparación de las materias no permiten que el producto resulte á un precio que pueda competir con el cemento natural. Por esta razón, nada hemos de decir aquí sobre la fabricación artificial, que por otro lado es la misma que la que describiremos cuando se trate de los cementos de fraguado lento, sin más diferencia que la de la cocción del compuesto formado, que debe sujetarse á los mismos principios por que se rige la cocción del cemento natural.

La fabricación de éste es, en realidad, muy sencilla en su descripción y muy difícil en la práctica si se ha de obtener un producto que responda á las necesidades que ha de llenar y al objeto para que debe aplicarse. Compónese, como es lógico, de las partes siguientes: explotación de la cantera, cocción de la caliza y elección de los fragmentos cocidos útiles, pulverización de estos fragmentos, tamizado del polvo y conservación del producto durante un cierto período de tiempo en silos ó depósitos subterráneos.

Como lo hemos dicho ya en el lugar correspondiente, para que las calizas produzcan el cemento de fraguado rápido deben tener una proporción de arcilla que no baje del 27 á 28 ni pase del 40 por 100, habiendo de ser toda la piedra que se emplee, igualmente que como se exige para la cal hidráulica, de composición definida y homogénea, pues de lo contrario, al someter á la cocción bancos de composición y, por consecuencia, de índice diferente, habría que hacer una costosísima separación de los fragmentos á su salida del horno, según su estado físico, porque de pulverizar todo el producto obtenido junto, resultaría sólo una mezcla de materiales hidráulicos de condiciones diferentes en su fraguado y con resistencias inmediatas y ulteriores distintas.

La razón es sencilla y está fundada en un hecho perfectamente conocido. Si á una mezcla íntima de sílice y arcilla que sólo es fusible por los enérgicos procedimientos de Saint-Claire Deville, y por consiguiente, que se le puede considerar como casi infusible, se le va agregando cal, la fusibilidad aumenta primero con la proporción de este elemento, llega á un cierto límite esta fusibilidad y después decrece con el nuevo aumento de la cal. Entre los límites ordinarios en que el índice está comprendido entre 0 y 1 puede decirse que la fusibilidad aumenta con aquel índice.

Sentado este principio, si en un horno dado y con temperatura determinada se calcinan diferentes fragmentos de calizas de índices distintos, cuando aquella temperatura es la conveniente para la cocción de las de índice bajo, vitrificará las de índice elevado, y si es la que conviene á estas últimas, dejará las primeras sin cocer en parte y en tanta menor proporción cuanto mayor sea el índice correspondiente.

La composición media de las calizas empleadas en las fábricas de «La Porte de France» en el departamento de L'Isere, es la siguiente:

Resíduo insoluble en los ácidos diluídos.. . . .	22,04	Índice 0,66
Alúmina y peróxido de hierro soluble.	1,78	
Cal.	36,87	
Magnesia.	2,48	
Azufre.	1,04	
Pérdida al fuego..	35,79	

Las que se emplean en las fábricas de San Sebastian y Zumaya, que como es sabido son las que gozan de mayor reputación en España, y donde esta industria se halla en condiciones más halagüeñas, son respectivamente:

Calizas de San Sebastian.

Sílice.	19,82	Índice 0,75
Alúmina.	7,85	
Peróxido de hierro.	2,67	
Cal.	37,11	
Magnesia.	0,32	
Pérdida al fuego.	32,23	

Calizas de Zumaya.

Sílice	20,07	Indíce 0,88
Alúmina	7,98	
Peróxido de hierro	2,49	
Cal	37,44	
Magnesia	0,40	
Pérdida al fuego	31,57	

Una vez elegida la caliza en las condiciones expuestas, la cocción se verifica en hornos ovóideos contínuos, dándoles secciones adecuadas para que aquella se verifique con la mayor regularidad posible y á una temperatura dependiente de la composición de la caliza, buscando siempre que efectuándose la disociación del ácido carbónico del carbonato no lleguen á vitrificarse los fragmentos de la caliza. En esto estriba la verdadera dificultad de esta fabricación y de aquí proviene en general la mala calidad de muchos de los cementos que se expenden en el comercio procedentes de muchas fábricas españolas, en donde apenas se tienen en cuenta estas condiciones por falta de conocimientos técnicos de sus propietarios y directores.

El método más práctico para conseguir un buen resultado, conocida que sea la composición química de la caliza, consiste en hacer análisis repetidos de los fragmentos después de la cocción y en un estudio completo de los caracteres físicos de aquellos para separar á la vista los que no presenten los que son propios de la caliza cocida en buenas condiciones. En las fábricas de «La Porte de France», ya citadas, donde se emplean 180 kilógramos de antracita de de La Mure por cada tonelada de piedra, los fragmentos que se consideran apropiados son aquellos en que sin haber perdido su forma primitiva presentan un color amarillento característico.

Separados éstos, que naturalmente han de ser la mayor parte de los que salen del horno para que la fabricación sea posible dentro de las condiciones económicas, hay que proceder á su trituración mecánica, puesto que cuando las calizas contienen la cal en las proporciones antedichas no se reducen á polvo por el simple apagamiento.

Esta trituración se efectúa con el auxilio de molinos de cualquier

clase que sea, si bien generalmente se aplican los modelos que son comunes en la fabricación de los cementos de fraguado lento, cuya descripción haremos en su lugar para dar una idea de ellos.

No es indiferente el grueso de los granos que conviene resulte después de la trituración. En el caso presente, en que se trata de calizas con un índice alto sometidas á una temperatura poco elevada, la solidificación hemos de ver en su lugar que parece provenir de la existencia de aluminatos de cal acompañados de una cierta cantidad de cal libre, que tiene tendencia, al apagarse, á producir descomposiciones en la masa total. El apagamiento de las partículas de esta última materia, se verifica siempre de la periferia al centro, de manera que lógicamente resulta, que cuanto más dividida se halle aquélla, mayor superficie de contacto habrá y con más facilidad se hidratará toda la materia.

Esta misma razón obliga á someter el polvo obtenido por la trituración á un tamizado, tanto más conveniente cuanto más elevado sea el número de las telas metálicas empleadas.

Queda por ejecutar la última operación de las indicadas ó sea la de conservar el cemento durante un período más ó ménos largo, según sus condiciones, en depósitos subterráneos ó silos. El objeto de ella es pura y sencillamente buscar el apagamiento y entumecimiento de la cal cáustica que contenga el producto, de manera que cuanto menor sea la cantidad de ella menor ha de ser el tiempo que ha de estar almacenado el cemento. Esta observación debe tenerse muy presente, porque este efecto se produce en virtud del vapor de agua que existe en la atmósfera, y como ésta lleva consigo una cierta cantidad de ácido carbónico, cuyo gas activa la descomposición, llega un momento en que el producto pierde de sus propiedades activas por las sales nuevamente formadas, haciendo que disminuya su resistencia inicial.

CAPÍTULO VI.

FABRICACIÓN DE LOS CEMENTOS PORTLAND

NATURALES Y DE LOS CEMENTOS MIXTOS.

I.—Principios que deben regir en la fabricación de los cementos Portland naturales.

Ya hemos dicho en otra parte de este estudio que cuando se someten las calizas productoras de los cementos de fraguado rápido á una temperatura bastante para que presenten un principio de vitrificación, se obtiene un nuevo material hidráulico en el que el fraguado se verifica de una manera lenta relativamente, poseyendo propiedades en cierto modo análogas á las que tienen los cementos Portland artificiales, por lo que se les designa generalmente con el nombre de *cementos* Portland naturales.

Teniendo esto en cuenta se comprende bien que es cosa fácil y hacedera, valiéndose de los mismos medios empleados en la fabricación de los cementos rápidos, la obtención de otros de fraguado lento, sin más que aumentar convenientemente el grado de calor á que se somete la materia primera, siendo éste el sistema que de ordinario se sigue en la industria corriente de los cementos objeto de este capítulo; pero no podemos dejar pasar en silencio algunas observaciones que conviene tener presentes para evitar la confusión que podría resultar de aceptarse la analogía entre estos productos naturales y los Portlands artificiales, con todas sus consecuencias, que podría ser sensible si se aplicase uno ú otro material indistintamente en ciertas construcciones.

En los cementos Portland, propiamente dichos, son condiciones indispensables que su fraguado tenga completo efecto en un plazo que no baje de dos horas ni pase de ocho; que admitan una gran proporción de arena en sus morteros y que sus resistencias definitivas sean muy elevadas; resultando estas propiedades de tener una composición química de-

finida y perfectamente regular y de una homogeneidad absoluta de los elementos componentes que la constituyen.

Repetidas veces hemos hablado ya de la dificultad que existe para encontrar canteras de calizas que presenten estas propiedades de regularidad, y esto hace comprender que han de ser raros los casos en que el producto obtenido por su cocción llene las condiciones exigidas para los cementos Portland; de manera que es más que probable que todo cemento natural resulte poco adecuado para substituir al artificial, que puede fabricarse y se fabrica con el cuidado suficiente para que no haya que lamentar deficiencias en su aplicación.

II.—Fabricación de los cementos Portland naturales.

Como quiera que cuanto más elevado sea, entre ciertos límites, el índice de una caliza, más fácil es llegar al estado pastoso de su vitrificación, es decir, al estado en que por su cocción se llegue á una combinación total de la cal; parece ser que la piedra más apropiada para la fabricación de los Portlands naturales será aquella en que la proporción de la arcilla á la cal sea grande; pero conviene no olvidar que entre el tiempo de solidificación ó fraguado de un producto hidráulico y su resistencia final hay una relación que varía con el índice, de tal manera, que si éste es muy elevado, cuando se busquen resistencias superiores hay que conformarse con fraguados excesivamente lentos, y que si se subordina todo á que éstos tengan una duración conveniente, entonces las resistencias máximas resultan tanto menores cuanto más pequeños sean también los períodos en que tiene lugar aquel fenómeno.

Con calizas en que el índice esté comprendido entre 0,60 y 0,70, se pueden confeccionar excelentes productos de fraguado lento, evitando en lo posible, bien por un escogido preliminar de la piedra, bien por igual operación después de la cocción, que se lleven á los trituradores materiales que lo tengan menor, pues seguramente éstos no se encontrarán con las condiciones necesarias de vitrificación en toda su masa, ántes al contrario, tendrán su núcleo en un estado de cocción deficiente y una vez molidos comprometerían la calidad del producto.

Si por el contrario hay alguna parte de la caliza cuyo índice es algo

mayor, el inconveniente no es de tanta entidad, pues el único efecto que producirá, una vez pulverizado, es que al principio de la solidificación permanecerá inerte retrasando el fenómeno, es decir, prolongando el período del fraguado, pero después contribuirá á la resistencia del conjunto, sin que haya que temer descomposiciones en la masa por la existencia de materiales que se puedan apagar al contacto del agua y que, de existir, darían lugar á aumentos de volúmen que se traducen siempre en grietas de la masa.

Una de las fábricas más importantes de esta clase de cementos, y que puede tomarse como modelo, es la de Valbonnais, de Mr. Pelloux é hijo, situada á la orilla derecha del río La Bonne, á 52 kilómetros de Grenoble.

El yacimiento que se explota se compone de dos bancos de una caliza arcillosa negra, muy compacta, que forma parte del terreno de Lias, la que se parte en fragmentos de seis á siete centímetros, haciéndose á la vez una primera separación de algunos nudos eminentemente arcillosos que se encuentran en la cantera.

Los fragmentos útiles se cargan acto seguido por capas alternadas con la dozava parte de su volúmen de antracita menuda de La Mure, en los hornos contínuos de forma ovóidea y de unos 65 metros cúbicos de cabida, en los que se verifica la cocción, que dura de seis á siete días, y una vez terminada y hecha la descarga se procede á una nueva elección de materiales, dividiéndolos en cuatro grupos en la forma siguiente:

1.° Los nudos arcillosos que se escapan á la selección preliminar y que una vez cocidos presentan el aspecto de arcilla vitrificada unos, y otros de escória ligera amarillenta y muy dura.

2.° Los materiales que por no haber sufrido la cocción suficiente conservan su color y forma primitiva.

3.° Ciertos fragmentos duros negros, con un principio de fusión que aparecen con una contextura laminar.

4.° El resto de los fragmentos que á pesar de hallarse en condiciones de perfecta cocción no han estado expuestos á temperatura tan elevada como los anterios, y no se han vitrificado, presentando un color algo ménos obscuro que los del tercer grupo.

De estas cuatro divisiones solo la tercera y cuarta son utilizables in-

mediatamente, pues la primera, representada por el 1 por 1000 próximamente, se desecha por completo, y la segunda vuelve á entrar en los hornos para someterla á nueva cocción. Con los materiales del tercer grupo se fabrica el cemento número 1, que fragua en doce á quince horas, y con los del cuarto grupo el cemento número 2, que lo hace en cuatro á cinco horas, siendo éste el verdadero tipo normal de los cementos Portland naturales, viéndose en esto la verificación práctica de lo que dejamos expuesto en el párrafo anterior sobre los efectos de las calizas de índice diferente sometidas á un cierto grado de calor.

Tanto unos como otros fragmentos, con separación absoluta, pasan en seguida á unos trituradores y de aquí á unos molinos que los pulverizan convenientemente. Este polvo se tamiza luego, empleando telas del número 80 para el cemento número 1, y del número 60 para el cemento número 2. Ambos productos se almacenan luego en silos, durante dos ó tres meses, ántes de entregarlos al consumo.

III.—Fabricación de los cementos mixtos.

Por uno de los muchos errores generalizados en materia de cementos, suelen conocerse esta clase de cementos, áun entre las personas peritas, con el nombre de cementos Portland artificiales, porque para su fabricación se emplean manipulaciones que les dan el carácter de aquel calificativo, pero que ni dan por resultado productos que se puedan confundir con los Portland, por su aspecto ni por sus cualidades, ni en rigor debe mirárseles mas que como mezclas de productos hidráulicos que en la mayoría de los casos no están hechas con conocimiento de causa y merecen por consiguiente cierta prevención.

En la Porte de France la fabricación de estos cementos tiene gran importancia, y allí emplean las granzas de la cal hidráulica de Sassenage y los fragmentos vitrificados que sirven para la producción del cemento natural semilento.

La mezcla de ambos productos en la proporción de 40 por 100 de los primeros, y 60 por 100 de los segundos, se somete á la trituración en molinos de piedra y al tamizado por telas del número 70, almacenando luego el polvo resultante durante cuatro á seis meses en silos subterráneos.

Con estas condiciones el cemento que se expende en el comercio, de esta procedencia, fragua á las tres horas, presentando resistencias inferiores á las del Portland artificial.

En algunos casos las mezclas de materias para producir el cemento mixto son aún más complejas que las que acabamos de exponer. En Tenay, por ejemplo, dicha mezcla se hace de tres materias distintas: granzas de cal hidráulicas, fragmentos vitrificados de cemento natural y fragmentos también vitrificados de una nueva mezcla artificial de marga arcillosa con un carbonato de cal casi puro; es decir, que en realidad el conjunto resultante en definitiva es una verdadera mezcla de cemento mixto con cemento Portland artificial.

CAPÍTULO VII.

FABRICACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND ARTIFICIAL.

I.—Orígen y desarrollo de esta industria.

Cuando nos hemos ocupado en la clasificación de los materiales hidráulicos, digimos por qué se le había dado el nombre de Portland al cemento de que nos vamos á ocupar, y las dudas que existían sobre el producto que en el año 1824 fabricaba Mister Apsdin, iniciador de la nueva industria.

Durante muchos años, y por virtud del desarrollo rápido que tomaba el cemento en las construcciones, los estudios que se hicieron para llegar á obtener un producto que satisficiese por completo á las necesidades fueron muy numerosos, y en vista de que es muy limitado el número de yacimientos propios para fabricar los cementos por la cocción directa de las calizas, fué necesario acudir á los medios artificiales para obtenerlos de igual manera que se hacía con las cales hidráulicas, que por medios manuales se llegaron á conseguir mucho antes que los referidos cementos.

Al principio los procedimientos empleados eran tan rudimentarios, que el nuevo producto dejaba mucho que desear, pudiendo decirse que hasta el año 1847 no tomó caractéres sérios y sólo en 1860, gracias á las exigencias de Mr. Grant para su recepción, fué cuando la industria de los cementos Portland llegó á adquirir la importancia que merece y que cada día toma mayor incremento.

Demás está decir que la más importante condición que hay que llenar para organizar una fabricación de cemento Portland artificial, es la de disponer de materias primeras de calidad superior, eligiendo entre las calizas aquellas especies que no sean duras ó muy resistentes, por las

dificultades y gastos á que daría lugar su pulverización, y entre las arcillas, las que sean muy ricas en sílice y contengan una proporción de álcalis que no pase del 4 por 100.

Una y otra materia hay necesidad de mezclarlas íntimamente y con la mayor uniformidad que permitan los medios mecánicos, pues de la perfecta homogeneidad de la mezcla depende la bondad del producto.

Otra condición no menos importante y esencial es la relativa á la dosificación de las materias, que no debe cambiar en lo más mínimo una vez comprobadas las proporciones regulares, debiendo asimismo conocerse de una manera exacta la cantidad de agua que contienen en todos casos aquellas, pues como este líquido puede variar entre límites muy extensos, sólo las experiencias y análisis frecuentes pueden dar la seguridad de no tener que sufrir decepciones en el producto fabricado.

Como quiera que el cemento Portland artificial proviene de la cocción hasta el estado pastoso, comienzo de la vitrificación, de una mezcla íntima en proporciones convenientes del carbonato de cal y de la arcilla, se comprende que la operación de la mezcla de estas materias es de la que depende en primer lugar la bondad del producto, y que nada puede esperarse de él si no se verifica en las mejores condiciones, con tanta más razón cuanto que por mucha que sea la precisión y regularidad de las dosificaciones, como las materias primeras se han de someter á la cocción y en ésta entra el nuevo factor combustible, la composición final quedará modificada por este último, que aunque en las condiciones ordinarias no es perjudicial, puesto que la presencia de las cenizas no ha de producir otro efecto que el de aumentar el índice, este aumento no puede pasar de límites restringidos si no ha de perder el producto sus condiciones esenciales.

Para conseguir la mezcla de las materias dos métodos distintos se emplean y ambos tienen sus partidarios, y pueden admitirse igualmente cuando se efectúan las manipulaciones con el cuidado necesario y se aplican los sistemas convenientemente. Si las calizas y las arcillas se diluyen fácilmente, se las reduce ambas á pastas bastante claras y después de mezcladas íntimamente se las deseca. Si por el contrario, aquellas materias son muy duras, se las reduce préviamente á polvo, se las mezcla después y adicionando al conjunto homogéneo una pequeña

cantidad de agua, se moldean ladrillos, que se dejan secar. Las operaciones subsiguientes son comunes á ambos métodos, que reciben los nombres de *procedimiento por la vía húmeda* el primero, y de *procedimiento por la vía seca* el segundo.

II.—Procedimiento por la vía húmeda.

Elegidas que sean la caliza y la arcilla que se vayan á emplear, siempre en el supuesto de que se hayan hecho análisis prévios que hayan determinado la relación en que deban entrar ambas materias, para que la mezcla resulte con las proporciones convenientes, que según las más autorizadas opiniones debe ser de 76 á 81 por 100 de carbonato de cal por 24 á 19 por 100 de arcilla (1), se empieza por desleir una y otra materia en grandes estanques, que en su parte superior están provistos de orificios vertederos. Estos estanques tienen montadas en su centro unas batideras de hierro con movimiento circular, que mantienen en suspensión las materias más ténues, de manera que, quedando en la superficie cuando se abre el vertedero, salen por él y van directamente á un tamíz hecho con tela del número 80, el cual detiene aún los fragmentos demasiado gruesos y sin desleir que hubieran podido ser arrastrados con la corriente.

Hecha esta operación con la caliza y con la arcilla, procédese á mezclarlas en las proporciones antedichas, en otros depósitos de 100 á 200 metros cúbicos de cabida, igualmente provistos de agitadores. Cuando éstos han funcionado durante un cierto período de tiempo, se toma una pequeña porción de la mezcla y se analiza ligeramente para asegurarse de sus buenas proporciones. Si la dósis de cualquiera de las dos materias componentes no es la apropiada, se agrega la parte necesaria y se comienza de nuevo la operación, ejecutándose un nuevo análisis y repitiendo una y otra cosa hasta conseguir la composición necesaria.

Estos últimos estanques ó depósitos tienen también vertederos de superficie, provistos de tamices análogos á los que hemos dicho se ponen

(1) Las proporciones teóricas parecen ser de 80 por 100 de carbonato de cal y 20 por 100 de arcilla; pero como un exceso de cal sería altamente perjudicial por la acción de ella en los cementos, conviene quedarse por debajo de la cifra marcada para el carbonato.

en los primeros, á través de los que pasa la masa líquida de la mezcla, que cae á un conducto en comunicación con otra serie de estanques de profundidad máxima de un metro y gran superficie, en los que se decantan las materías que van en suspensión. El número de estos estanques es variable según la importancia de la fábrica, pero siempre deben ser en número suficiente para que pueda recogerse en ellos provisión de pasta para un par de meses.

Cuando por virtud de la decantación la masa ha adquirido la consistencia de una pasta blanda, conviene removerla enérgicamente con batideras de calero, á fin de darle de nuevo la homogeneidad que haya podido perder al depositarse, que como es natural lo habrá hecho por capas de mayor á menor densidad.

El agua en exceso se deja evaporar y filtrar por los fondos de los depósitos hasta que la consistencia de la masa sea la bastante para moldear ladrillos; se procede á esta operación ó simplemente á la de cortarla en trozos irregulares, con auxilio de una draga de mano, dejando acto seguido expuestos al aire libre los ladrillos ó los trozos, si la estación lo permite, para que se desequen por completo, ó metiéndolos bajo cobertizos para conseguir igual resultado en los países lluviosos ó húmedos.

Cuando el combustible es barato, la evaporación prévia de la masa puede acelerarse estableciendo en el fondo de los depósitos de decantatación tubos de aire caliente. El mismo sistema puede emplearse para la desecación completa de la masa ya moldeada, habiendo algunos fabricantes que, á pesar del aumento de gasto que exige el empleo de la desecación artificial, la prefieren porque les permite disminuir la extensión superficial de los estanques, á la vez que por que parece obtienen las ventajas de mejorar la calidad de la pasta y facilitar la cocción haciéndola más regular.

En Inglaterra utilizan para el secado de las pastas el calor perdido de los hornos de cocción, y en algunas fábricas francesas se emplea, para igual objeto, hornos secadores, en los que en vez de dejar escaparse á la atmósfera los gases calientes se les obliga á atravesar un conducto horizontal bastante largo, en forma de túnel, que, colocado á la altura de los tragantes de las cubas de los hornos, recoge aquellos gases y los conduce á una chimenea común para varios hornos. Sobre el túnel se esta-

blece una superficie con rebordes y en ella y en el fondo del túnel se deposita la pasta líquida que sale de los estanques donde se hace la mezcla, evitándose de este modo los depósitos de decantación.

Es dato importante el de que las pastas desecadas, y en disposición de cargarse en los hornos, no deben contener arriba del 4 al 5 por 100 de humedad.

La cocción de los cementos de fraguado lento ejerce una gran influencia sobre sus cualidades, pudiendo hasta darse el caso de que cuando aquella operación se conduce de una manera bien entendida, se corrijan los pequeños errores de la composición química de la mezcla, y por el contrario, que aún perfectamente homogénea esta composición, se obtenga un producto de mala calidad por efectuarse la cocción en condiciones poco adecuadas.

En la cocción, ya lo hemos dicho otra vez, hay que buscar la manera de determinar entre los elementos del cemento una combinación íntima produciendo un principio de vitrificación, por todo lo que los obreros que han de dirigirla necesitan tener una extremada atención y una gran experiencia.

Los hornos que se emplean en la mayor parte de las fábricas pueden dividirse, como lo hace constar Mr. Candlot en su excelente obra sobre los cementos y cales hidráulicas (1), en cuatro tipos principales, que son:

Hornos ordinarios de cocción intermitente.

Hornos ingleses.

Hornos contínuos, sistema Hoffmann y sus modificaciones.

Hornos Dietzch.

Los hornos ordinarios son muy análogos á los que se emplean en la fabricación de la cal, estando formados generalmente por dos troncos de cono unidos por su base mayor, construyéndose sobre el tragante una elevada chimenea para asegurarles un tiro enérgico y regular.

La cocción en éstos, que se hace intermitentemente, se verifica con el auxilio del carbón menudo, colocado por capas alternadas con los fragmentos de ladrillos de la mezcla préviamente hecha, efectuándose la introducción de las materias por unas puertas laterales abiertas en la chime-

(1) *Ciments y chaux hydrauliques.*—Paris, 1891.

nea, que se cierran herméticamente acto seguido de terminarse la carga. El fuego se prende por la parte inferior, donde también está la boca de descarga. La cocción suele durar de cinco á seis días, y todas las operaciones de una hornada, el doble de este tiempo.

La operación de la descarga se hace siempre enojosa y molesta, porque como por el principio de vitrificación que ha sufrido la materia, los fragmentos se aglutinan unos á otros, al apagarse el fuego puede decirse que toda la masa que hay en el interior del horno forma un solo cuerpo, que si bien por el enfriamiento se agrietea y divide en trozos, siempre exige el uso de largas rasquetas de hierro para completar la separación y acelerar la bajada de los fragmentos.

Entre esta clase de hornos y los del segundo tipo, ó ingleses, hay muy pocas diferencias, siendo la principal la de que sobre las baterías de los últimos se colocan los secaderos, de que ántes hemos hecho mención, suprimiendo por consiguiente las chimeneas particulares de cada uno de ellos y substituyéndolas por una general donde está la llamada del túnel secadero.

Los hornos secaderos exigen para su construcción un cubo considerable de mamposterías, y presentan el inconveniente de que este cubo absorbe una gran cantidad de calor; tienen en cambio la ventaja de facilicar la operación del secado de las primeras materias.

Los hornos del tercer tipo, ó sean los del sistema Hoffman y sus modificaciones, son los mismos que se emplean para la cocción de los productos cerámicos ordinarios de construcción, y como son tan conocidos, diremos sólo de ellos que se componen de una galería circular ó elíptica ó de dos galerías rectas paralelas y en comunicación entre sí por sus extremos, divididas en compartimentos, en número generalmente de 14 á 20, y en comunicación cada compartimento con la galería de humos y la chimenea por medio de conductos con sus registros para facilitar ó interrupir la comunicación. Valiéndose de éstos, los fuegos recorren los compartimentos todos, á excepción de tres, que sirven de cámara de trabajo, el central, y para la carga y descarga los otros dos.

El combustible se carga por la plataforma superior, donde hay unos orificios que también se cierran herméticamente con registros; el material del cemento, que cuando se emplean estos hornos ha de estar mol-

deado precisamente en forma de ladrillo, se coloca en los compartimentos en la forma misma que se hace con los ladrillos de construcción.

La duración de la cocción de cada compartimento es variable, según la actividad que se le dé al horno, pero puede considerarse comprendida entre quince y treinta y cinco horas.

Por la disposición que tiene esta clase de hornos, los gases de la combustión se aprovechan para ir caldeando los compartimentos en donde no se carga carbón, cuyo calor se aprovecha para terminar la desecación completa de los materiales que hay en aquellos y para elevar su temperatura, de tal manera, que cuando se empieza á echar carbón en ellos puede decirse que comienza la cocción. Además, el aire que entra para la combustión no llega frío al combustible, sino que obligado como está á pasar por entre los ladrillos ya cocidos, roba el calor á éstos y se obtiene el doble resultado de enfriarlos, como es necesario estén para descargarlos, y que se caliente sucesivamente el aire antes de llegar al foco de la combustión.

El horno sistema Dietzch, que se estableció por primera vez en Malstatt, y cuyo empleo se ha generalizado en muchas fábricas de cemento desde 1886, es también un horno contínuo como los de Hoffmann y sus variedades; pero así como en éstos la materia que debe cocerse no tiene movimiento alguno, y es el fuego el que recorre los sucesivos compartimentos, en aquel, por el contrario, la cocción se verifica siempre en la misma zona por la que pasan los materiales sucesivamente.

Compónese este horno de una série de cámaras, encima unas de otras, de las cuales la más baja, que se llama de enfriamiento, está inmediatamente sobre la rejilla de descarga, situada en la clave de un espacio abovedado. Sobre dicha cámara de enfriamiento, y con el mismo eje vertical, se halla el llamado crisol, donde se verifica la cocción, propiamente dicha, el cual comunica por conducto horizontal con otra cámara superior, llamada el calentador, sobre el que se construye la chimenea de tiro.

En las paredes laterales de ésta se hallan las puertas de carga del material que ha de cocerse; en toda la altura del calentador y á lo largo del conducto horizontal, existen varias mirillas para observar la marcha de la operación, y en el extremo de este mismo conducto, sobre el tra-

gante del crisol, la puerta de carga del combustible. En la cámara de enfriamiento también existen algunas mirillas con sus registros para poder observar el estado en que se encuentra el cemento cocido y facilitar su descenso.

Por esta disposición, que exige se apareen los hornos, por estar en distinta vertical la parte baja y alta de aquellos que se comunican por el conducto horizontal, se denominan también los hornos Dietzch hornos de pisos.

El funcionamiento de éstos es muy sencillo. Por las puertas de carga de las chimeneas se echa la materia que se ha de cocer en el calentador, llenando esta cámara y el conducto horizontal hasta el tragante del crisol; por la de carga del combustible se echa éste, que conviene sea de una clase tal que produzca muchos gases en el crisol, que está ya lleno de material que ha pasado antes por el calentador; allí se desprenden los gases volátiles, y la temperatura se hace tan elevada, que verifica la cocción completa hasta la vitrificación del cemento que se halla en la cámara; los gases, al escaparse, tienen que atravesar para llegar á la chimenea todo el conducto horizontal y el calentador, y como están á la temperatura necesaria para dar lugar á la disociación del ácido carbónico, esta reacción se verifica en toda la materia que está en el referido calentador; de manera que mientras las reacciones que dan lugar á la vitrificación se producen en el crisol, la indicada disociación tiene lugar en el calentador, y todo el material contenido en éste se halla en disposición de pasar al crisol.

A una hora fija, dependiente del tiempo que dura la cocción, se hace bajar, con auxilio de rasquetas, á la cámara de enfriamiento, parte del cemento ya cocido, y por su propio peso desciende todo el contenido del crisol, que se llena de nuevo con la materia que hay en el calentador y con el carbón que le corresponde, operaciones que se repiten indefinidamente.

En cada una de estas parciales operaciones se invierte próximamente el tiempo siguiente: en el calentador están los materiales de doce á veinticuatro horas; en el crisol, de una á dos horas, y en la cámara de enfriamiento, de doce á dieciocho horas, dependiendo, como es natural, estos períodos de las dimensiones de cada una de las cámaras, de la composición de los materiales empleados y del combustible de que se haga uso.

Este horno, entre sus condiciones de bondad, tiene la inapreciable de la economía de combustible. Según los datos recogidos, alguno de los cuales hemos podido comprobar por nosotros mismos, se cita el de que, en él, para cada 100 partes de materiales de cemento empleado, sólo hacen falta de 14 á 20 de carbón, según sea su potencia calorífica, mientras que para igual peso de materiales hacen falta en los hornos Hoffmann de 18 á 25 de carbón, y en los de cuba, de 23 á 32 partes de combustible.

La temperatura elevadísima que en los hornos Dietzch se produce, da lugar á que la duración de las camisas de éstos, sobre todo la de los crisoles, tenga una duración muy limitada, que áun con los mejores ladrillos refractarios no suele pasar de medio año, pues las masas vitrificadas se adhieren á las paredes y es necesario acudir á los medios violentos de arrancar aquellas vitrificaciones con rasquetas, lo que coadyuva á la destrucción de la camisa. Se ha tratado de conseguir mayor duración de esta importante parte de los hornos, construyéndolas con ladrillos hechos de cemento Portland fabricados con polvo de este material, amasado con una solución de cloruro magnésico ó cálcico, que les da la propiedad de evitar las adherencias de las materias con que se fabrica el cemento.

A la salida del horno toca ya proceder á las siguientes operaciones, que constituyen la fabricación del cemento y que son: el molido y tamizado del polvo, después de haber separado de entre los fragmentos cocidos aquellos que por su color claro y débil densidad se comprende que no han sufrido la cocción necesaria y que conviene vuelvan á los hornos para completar aquella cocción. Del mismo modo deben separarse los polvos procedentes en parte de las cenizas del combustible, y en parte del cemento mismo, que ha sufrido un exceso de temperatura, y se ha reducido al estado pulvurulento al enfriarse. Éste se aprovecha y se expende en el comercio con el nombre de cemento pesado, pero no tiene las condiciones de los cementos de buena calidad.

Como la dureza de los fragmentos útiles es muy grande para reducirlos á polvo, hay que empezar por triturarlos valiéndose de aparatos que generalmente están constituídos por cilindros laminadores ó por trituradores de quijada, afectando distintas disposiciones, pero produ-

ciendo todos los sistemas que merecen algun crédito, los mismos buenos resultados. Los fragmentos, al salir de los trituradores, suelen tener de 4 á 5 centímetros de dimensión máxima.

La pulverización propiamente dicha se efectúa en molinos de piedras, análogos á los que emplean para los cereales, aunque de ruedas mayores, pues llegan á pesar hasta 1500 kilógramos, ó en molinos de rodillos superpuestos, de bolas ú otros, si bien algunos fabricantes prefieren los primeros y más elementales, á todos los demás.

Entre esta clase de aparatos, que sustituyen á los molinos de piedras, merece conocerse el de bolas, de Morel, que se empleó por primera vez en la fábrica de los Sres. Dumollard y Viallet (1), y se ha adoptado en otras muchas.

Tiene la forma este aparato (fig. 4), de un cilindro de eje vertical,

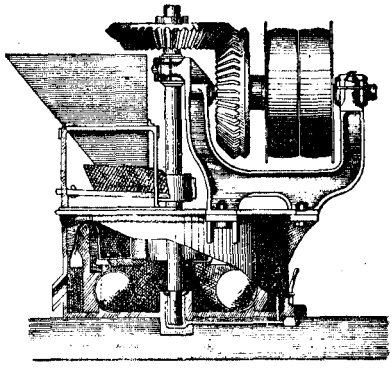


Fig. 4.

de un metro de diámetro y 50 centímetros de altura, dentro del que hay seis brazos metálicos que parten de un núcleo central que gira con un árbol vertical situado en el eje, y de seis esferas de acero de 20 centímetros de diámetro, con peso de 35 kilógramos cada una, intercaladas entre los referidos brazos y sin enlace ninguno con ellos. Todo ello está rodeado por una corona de acero, que presenta interiormente una garganta de sección circular y del radio mismo de las esferas, estando ce-

(1) Mr. Gobin ha publicado una completa descripción de estas fábricas y de las demás de L'Isere en los *Annales des ponts et chaussées*, 1889.

rrada la corona por su parte superior con una tela metálica destinada á tamizar el polvo.

Cuando se pone el eje vertical en movimiento con una velocidad de rotación de 180 á 200 vueltas por minuto, las esferas, impelidas por la fuerza centrífuga, entran en la corona, y empujadas por los brazos permanecen en ella, aplastando por presión, rodamiento y resbalamiento, la materia que hay que pulverizar, que se introduce por medio de una tolva en la parte central del aparato, y por la misma fuerza centrífuga va hacia la corona donde obran las esferas.

La corriente de aire que la misma rotación del aparato produce, impele el polvo formado hácia la tela metálica, la atraviesa y se recoge en el espacio anular comprendido entre el aparato en funcionamiento y una campana de fundición que lo envuelve por completo, evitando la pérdida de materia alguna.

El polvo que se obtiene por el molido, aun cuando se haga uso de aparatos como el precedente, hay necesidad de tamizarlo para entregar al comercio sólo el que tenga el grado de finura conveniente. Para esta operación se emplean tamizadoras de distintos sistemas, siendo las más comunes las que sirven también para las cales hidráulicas, que, como hemos dicho, no son más que prismas con eje inclinado, cuyas caras son de tela metálica, generalmente del número 80.

Modernamente hay tendencia á sustituir estas tamizadoras de rotación casi horizontal por otras de trepidación ó de las llamadas de plano inclinado. El tipo más ingenioso de las primeras es el de Mr. Morel, que

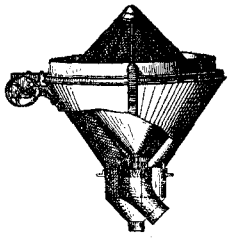


Fig. 5.

como lo representa la figura 5, está formado por un tamiz cónico de eje vertical, en cuyo vértice desemboca el tubo conductor del polvo pro-

cedente del molido, el que se esparce por la superficie lateral exterior del cono, atravesándolo el que tiene la finura suficiente, y cayendo en un embudo cónico invertido, colocado debajo del tamiz, desde donde va al tubo de salida. Para recoger el polvo que no atraviesa el primer tamiz hay otro segundo, que envuelve al embudo, dejando entre ambos un pequeño espacio anular cónico donde cae aquel polvo, parte del que pasa por su finura al exterior, y va á reunirse con el polvo que ha pasado por el primer tamiz y sale por el mismo tubo. El resto del polvo grueso, es decir, el que no ha pasado ni por el primero ni por el segundo tamiz, se reune en el vértice del segundo de estos tamices, y por un tubo sale al exterior para volver á los molinos á sufrir una nueva trituración.

Todo el aparato está envuelto por un embudo de palastro ó fundición que forma la caja general, y se le da un ligero movimiento de trepidación por una excéntrica para facilitar el tamizado. Es muy práctico, de muy pequeño coste y consume poca fuerza.

Debe tenerse en cuenta que las telas metálicas en él empleadas han de ser de números algo más bajos que los que correspondan al tamizado que se quiera hacer, porque estando aquellas inclinadas, los granos que pasen á través de ellas sólo tendrán de diámetro el que corresponda á la proyección horizontal de los orificios.

La tamizadora Nagel pertenece al segundo tipo, ó sea al de los planos inclinados. Este aparato se compone, como su nombre lo indica, de un plano inclinado formado por una tela metálica, á la que se le da mayor ó menor inclinación, según convenga á la finura del polvo que se quiera obtener. La materia, después de molida, se echa por una tolva que hay en la parte superior del aparato, desciende por la tela metálica, á la que se le da un ligero movimiento de trepidación, y se recoge por un lado el polvo utilizable, y por otro el que por no haber atravesado la tela necesitan ir de nuevo á los molinos.

Los cementos Portland conviene mucho almacenarlos en silos durante algunas semanas, para dar tiempo á que si contienen algunas partículas de cal se apaguen expontáneamente; así es que muy generalmente se atiende en las fábricas á esta operación antes de envasar el producto en sacos ó barriles para su consumo.

III.—Procedimiento por la vía seca.

En este procedimiento, en vez de efectuar las mezclas de las materias primeras por levigación, se empieza por desecarlas y reducirlas á polvo, para después reunirlas en las proporciones necesarias. Como modelo del método, presentaremos la importante fábrica que los Sres. Romain Boyer y Compañía tienen montada en La Bedoule, á cinco kilómetros de Cassis, cerca de Marsella, y que está dirigida técnicamente por un español, el ilustrado ingeniero D. Santiago Juliá.

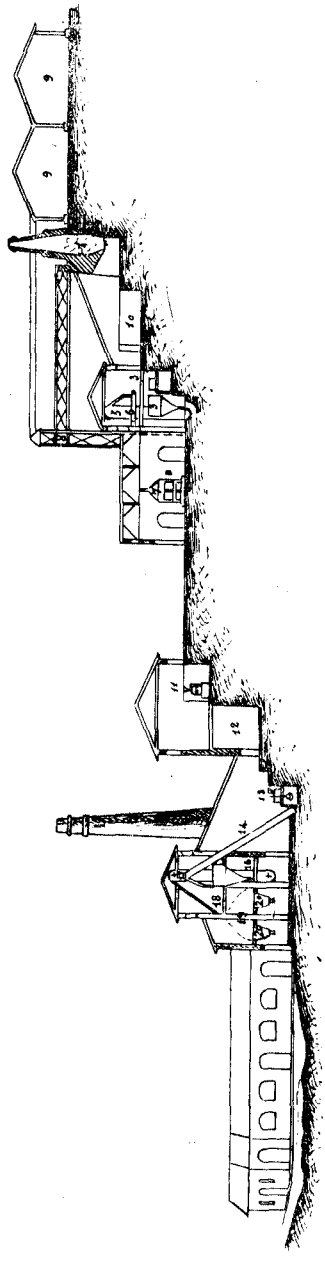


Fig. 6.

Los materiales que se aprovechan para la fabricación del Portland artificial son los del piso Aptiense, compuestos de margas arcillosas y calizas más ó ménos compactas, mezclándolas en las proporciones convenientes deducidas de constantes y cuidadosos ensayos, y que, como es natural, varían con la composición de aquellas capas para obtener siempre una perfecta homogeneidad del producto.

La primera operación que se ejecuta es la de un secado preliminar de las piedras elegidas, para hacer que desaparezca el agua de cantera. Para ello, cada calidad de la roca elegida se carga separadamente en los hornos secadores, situados al mismo nivel de los hornos de cocción número 1 (fig. 6); al salir de ellos van los fragmentos desecados á una serie de básculas, cuya

capacidad variable se regula por el laboratorio en la proporción que señalan los análisis. La mezcla de las rocas pasa en seguida á un triturador y de aquí á los molinos número 2, donde se pulveriza, cayendo directamente á los tamices número 3, que sólo dejan pasar la parte fina, volviendo la gruesa á los molinos. El polvo tamizado de todos los molinos se reune en un tornillo de Arquímedes, número 4, que lo conduce hasta el elevador de cangilones número 5, que lo vierte en el estanque donde ha de humedecerse. Antes de llegar á este estanque, un ingenioso aparato toma cada cinco minutos medio centímetro cúbico de materia, que se analiza de hora en hora, rápidamente, en el laboratorio, para asegurarse de la regularidad de la composición. Si estos análisis demuestran la bondad del compuesto, se humedece el polvo y se deja en los depósitos el tiempo necesario para que el grado de humedad sea el mismo en toda la masa, que de nuevo se analiza. En las prensas número 7 se moldea acto seguido la pasta en forma de ladrillos, los cuales, valiéndose de un monta-cargas número 8, se elevan á los tinglados de desecación número 9, donde permanecen hasta que la dirección técnica considera se hallan en el estado de sequedad conveniente.

Terminado este primer período, que es el que realmente constituye la fabricación por vía seca, se analiza de nuevo la materia de los ladrillos, y siempre en el supuesto de que acusen la regularidad de composición elegida, pasan aquellos á los hornos de cocción número 1, donde se les somete á la temperatura del rojo blanco, alternando sus capas con coke. Descargados que son los hornos, y después de dejar los ladrillos cocidos por algunos días en los depósitos número 10, pasan á la fábrica inferior, donde se les quebranta en el triturador número 11 antes de depositarlos nuevamente en los almacenes número 12, de los que salen por turno para los molinos número 13, y desde aquí por las norias número 14 á los tamizadores número 15, donde ya se recoge el producto fabricado.

Para la comodidad de la fabricación el polvo obtenido se conduce por las espirales de Arquímedes números 16 y 18 y la noria número 17 á los silos ó depósitos número 19, en cuyo fondo están las tolvas para llenar los envases.

CAPÍTULO VIII.

FABRICACIÓN DE LOS CEMENTOS DE ESCORIAS.

I.—Naturaleza de este cemento.

FUNDÁNDOSE en el hecho admitido generalmente de que las puzolanas naturales se han formado por el enfriamiento brusco de las materias volcánicas, hace ya algún tiempo que en Inglaterra se fabrica el cemento de escorias de altos hornos, tratando de producir artificialmente aquel fenómeno natural; sin embargo, hasta 1880 puede decirse que no ha empezado á adquirir esta fabricación importancia práctica, habiéndose, después de aquella fecha, extendido considerablemente en el continente europeo, sobre todo en Suiza y Alemania y últimamente en Francia, donde existen dos importantísimas fábricas: la de Mrs. Henry Gonod y Girardot y la de Mrs. Gustavo Raty y C.ª, situadas respectivamente en Donjeux (Haute Marne), y en Saulnes (Meurthe-et-Moselle).

La composición de estos cementos, según los análisis más completos, acusa un índice de 0,70 próximamente, y están constituídos por la mezcla de las escorias básicas de altos hornos con cal grasa ó cal ligeramente hidráulica, préviamente apagadas, dando un producto cuyo color depende del de aquella primera materia, pero que tiene el inconveniente de que cuando se amasa con el agua suelen producirse hiendas perjudiciales á la bondad de la obra ejecutada. Este inconveniente se ha evitado adicionando á aquella mezcla sílice ó alúmina obtenidas por precipitaciones químicas.

II.—Método de fabricación.

En los comienzos de esta fabricación el método que se empleaba, dado por el ingeniero Mr. Farinaux, consistía en adicionar la cal á la

escoria en fusión en el momento mismo de su salida del crisol del alto horno; pero los resultados que se obtenían dejaban mucho que desear en la fadricación en grande, aun cuando en las experiencias del laboratorio habían sido concluyentes. Posteriormente se ha adquirido el convencimiento de la necesidad de someter préviamente las escorias á un enfriamiento rápido, para lo cual se proyecta á su salida del horno en estanques llenos de agua fría, donde adquiere la forma granulosa, de aspecto parecido á la arena. Estos granos, cuando se les saca del agua, conservan en sus poros mucha humedad y hace falta secarlos por completo antes de reducirlos á polvo fino para efectuar la mezcla con la cal.

Como es natural no todas las escorias de los altos hornos son utilizables para esta fabricación. Según el profesor Tetmajer, que ha hecho estudios muy completos sobre este producto, hace falta que aquellas escorias sean básicas, no debiendo bajar la relación de la cal á la sílice de 1 ni pasar de 1,20.

La pulverización de los granos de escoria, desecados, se verifica en molinos de cualquier clase, con tal de que resulte de bastante finura para que la mezcla con la cal apagada sea lo más íntima posible.

Las proporciones de una y otra materia varían, según la composición que ambas tengan, entre 30 á 40 por 100 de cal y 60 á 70 por 100 de escorias.

La mezcla de estas materias con la sílice ó alúmina, empleada para evitar las hiendas, suele hacerse en molinos de bolas, análogos á los ya descritos en esta Memoria, donde todo el conjunto acaba de pulverizarse hasta un límite superior al ordinariamente aceptado para los demás productos hidráulicos, como lo requiere la homogeneidad imprescindible de la mezcla que constituye este cemento.

CAPÍTULO IX.

TEORÍAS SOBRE LA SOLIDIFICACIÓN DE LOS PRODUCTOS HIDRÁULICOS.

I.—Principio general.

La solidificación de los productos hidráulicos ha sido y continúa siendo objeto de grandes dudas y motivo de constantes estudios hechos por muchos químicos é ingenieros, sin que hasta el presente pueda decirse que se haya llegado á decir la última palabra, ni siquiera que se vislumbre un acuerdo entre todos aquellos, que permita se acepte como indudable ninguna de las teorías expuestas. En principio, puesto que la presencia del agua es indispensable para que el fenómeno se verifique, hay que admitir que éste obedezca á la hidratación de los elementos que se hallan en presencia, y constituyen los materiales que salen de los hornos después de la cocción de las calizas ó de las mezclas de las primeras materias con que se fabrican los productos artificiales; pero la verdadera dificultad estriba en determinar cómo estaban combinados aquellos elementos, y qué reacciones tienen lugar al producirse su hidratación.

II.—Teorías de Vicat y de Rivot y Chatoney.

Vicat admitía que el estado de la sílice contenida en una caliza ejerce una positiva influencia sobre las propiedades de la cal que se puede producir con ella, y como la mayor parte de las cales hidráulicas vió que contenían sílice, cal, magnesia ó alúmina, dedujo que por la calcinación de la piedra tienen lugar reacciones por las que la cal cáustica, producto de la disociación del ácido carbónico, obrando sobre la arcilla la descompone, y forma con parte de la sílice un silicato cálcico, y con el

resto de aquel compuesto y la alúmina un silicato de alúmina, cuya mezcla es lo que viene á constituir los compuestos hidráulicos, atribuyendo la solidificación de éstos en presencia del agua á una cristalización confusa, consecuencia de la hidratación de aquellas sales.

En estos estudios, Vicat suponía que las cales que contienen alúmina se endurecen mucho más deprisa que las que sólo contienen sílice ó aquella base en pequeña cantidad; Rivot y Chatoney, por el contrario, en su teoría dan á la alúmina papel muy principal en los efectos de la solidificación. Según estos últimos autores, y esto es muy racional, los productos de la cocción varían á la vez con la proporción de los elementos componentes de las primeras materias y con la temperatura de la cocción. En las cales hidráulicas y los cementos rápidos cocidos moderadamente, se forman silicatos y aluminatos de cal, y en los cementos Portland, en que la temperatura de cocción es más elevada, silicatos dobles de alúmina y cal, cuyos compuestos en uno y otro caso se solidifican al hidratarse, cristalizando confusamente.

Mr. Merceron Vicat, al hacer la crítica de esta teoría antes de exponer la suya, de que luego hablaremos, dice con razón que estas conclusiones no han tenido jamás la sanción de la experiencia; antes bien, están rebatidas por los hechos, pues el aluminato de cal no posee ninguna propiedad hidráulica, como lo demuestra la experiencia de Berthier, quien calcinando una mezcla de carbonato de cal y de alúmina en estado de pureza, sólo obtuvo un compuesto que se entumecía como la cal grasa y formaba con el agua una masa, ligada sí, pero que no se endureció.

En cuanto al silicato de cal, con la fórmula que Rivot le dió ($3\,CaO, SiO^7$) ningún químico ha encontrado su existencia en los productos hidráulicos.

III.—Teorías de Fuchs, Feichtinger y Winckler.

Primero Fuchs, para las cales hidráulicas, expuso la teoría que Pettenkofer amplió luego para los cementos Portland, de que la cocción produce sólo el efecto de convertir la sílice de las calizas en sílice soluble que queda libre, no teniendo lugar su combinación con la cal

hasta el momento en que se amasa, formándose entonces una cal hidratada que se endurece.

Feichtinger cree que el fraguado de todos los materiales hidráulicos proviene de la combinación química entre la cal y el ácido silícico, y entre aquel cuerpo y los silicatos formados, teniendo lugar una triple acción química, consistente: primero, absorción del agua por todos los elementos; segundo, combinación de la sílice con la cal, que da lugar al endurecimiento, y tercero, hidratación de la cal que queda libre, transformándose en carbonato por el ácido carbónico del aire.

Winckler, que se declaró partidario de la teoría de Fuchs en lo referente á las cales hidráulicas y cementos rápidos, expuso la idea de que en los de fraguado lento no podía admitirse, por considerar que las reacciones tienen lugar en este producto durante la calcinación.

Todas las teorías que tienen por base para el endurecimiento las reacciones que se verifican solamente después de la hidratación de la cal que contienen los materiales hidráulicos, parece están desmentidas por las experiencias de Ostwald, el cual, después de haber analizado cuidadosamente cinco clases distintas de cementos, tres de ellos rusos y dos alemanes, determinó el calor desprendido durante el fraguado y hasta diez días después, y pudo observar que en todos los casos el desprendimiento de calor es al principio muy rápido, pudiendo decirse que al cabo de seis horas había quedado libre más de la mitad del calor total, continuando después el desprendimiento cada vez más lento, hasta que al fin del período de experimentación se hizo insensible. Anotando el total calor desprendido, y comparándolo con el que correspondería, según las experiencias de Berthelot, á la hidratación de la cal que cada uno de los cementos contenía, si hubiese estado libre, dedujo que aquél en todos los casos había sido mucho menor que el de la referida cal no combinada.

Este hecho demuestra bien á las claras que durante la cocción, es decir, antes de que éntre en acción el agua al amasar los productos, se verifica una reacción enérgica que da lugar á desprendimiento de calor, y por consiguiente que la teoría exclusivamente física de la formación del cemento es totalmente inadmisible y solo deben considerarse como próximas á la verdad las que se funden en procesos químicos verifica-

dos durante la cocción, pues aunque podría objetarse que en la solidificación se producen estos procesos y á ellos atribuir la diferencia de calor desprendido observada, debe recordarse que la formación de los silicicatos, de hidratos de aluminio, etc., desprenden todos calor, y si acaso tienen lugar, lo que harán es disminuir aquella diferencia ya de por sí muy grande. Si, pues, á pesar de todo no se llega jamás á una igualdad, ni siquiera aproximada, entre el calor desprendido en el endurecimiento y el que corresponde á la cal que contiene el producto considerada libre, hay que admitir que se verifican reacciones entre sus elementos durante la cocción.

IV.—**Teoría de Fremy.**

Este sabio químico, en vista de la diversidad de criterios que dominaban en el asunto de la solidificación de los productos hidráulicos, se dedicó á efectuar experiencias de laboratorio para presentar una teoría completa, que en nuestro concepto adolece de un vicio de origen, es decir, de que aquellas experiencias las verificó, no como tienen lugar en la industria sinó de una manera, por decirlo así, demasiado técnica, puesto que los compuestos que él obtenía no son precisamente los que se forman en los hornos, que no pasan de ser escorias pastosas y no verdaderas vitrificaciones como á él le resultaban.

La marcha seguida por él fué la de estudiar las propiedades y la acción mútua de los cuatro cuerpos que se conceptuaban como constituyentes de los materiales hidráulicos, á saber: el silicato de cal, el silicato doble de alúmina y de cal, el aluminato de cal y la cal cáustica.

Los resultados que con cada uno de ellos obtuvo los expuso en 1865 y 1868 á la Academia de Ciencias de Paris, de cuyas extensas memorias extractamos lo más importante.

El silicato de cal lo formó Mr. Fremy por variados métodos, tanto por la vía seca como por la vía húmeda, y en todos los casos tratados por el agua, después de pulverizado, vió que no fraguaba; de ello dedujo que la hidratación de aquella sal no es, en manera alguna, lo que produce el fenómeno de la solidificación.

La sílice combinada por la vía seca, no solo con la alúmina y la cal

sinó también con la magnesia y el óxido de hierro, dieron igual resultado que el silicato de cal, al amasarlos con el agua, y dedujo igualmente que la hidratación del silicato doble que puede formarse al calcinar una caliza arcillosa, no puede dar lugar al fraguado por su hidratación.

Para la producción de los aluminatos de cal se valió de mezclas en proporciones variables de alúmina y cal, perfectamente puras, calcinándolas á diferentes temperaturas, y comprobó, en primer lugar, el hecho de que la alúmina es un excelente fundente de la cal y que cuando la proporción de esta última base es muy fuerte se obtienen aluminatos calizos cristalizados que se combinan con el agua, con desprendimiento de calor, aumentando de volúmen como la cal grasa, pero no verificándose la solidificación buscada.

En cambio cuando con menores dosis de cal se obtienen los aluminatos cuyas fórmulas corresponden á uno, dos ó tres equivalentes de cal por uno de alúmina, aquellos, una vez reducidos á polvo y mezclados con una pequeña cantidad de agua, se solidifican casi instantáneamente y adquieren gran dureza, presentando también la propiedad de aglomerar las materias inertes como el cuarzo.

Observó, asimismo, que los aluminatos que gozan de esta propiedad de solidificación la adquieren á temperaturas muy fuertes, explicándose por este hecho la particularidad que exige la fabricación del cemento Portland de tener que emplear necesariamente altas temperaturas, para que su grado de hidaulicidad sea también elevado.

De todas estas experiencias sacó la convicción de que el aluminato de cal es el principal agente hidráulico de los cementos rápidos, quedando por examinar si es el único para todos los cementos ó hace falta el cuarto de los elementos antes enunciados, combinado con los dos primeros, que por sí solos no resultaban con ningún valor para la solidificación. Fundándose en la acción química que el hidrato de cal tiene sobre las puzolanas, hizo multitud de experiencias para determinar la naturaleza de los cuerpos que gozan de aquella propiedad, eligiendo aquellos que por razon de su composición química ó de sus propiedades físicas, por afinidad química ó por afinidad capilar, podían combinarse con la cal ó unirse mecánicamente con ella. De estas substancias, las que resultaron ser

verdaderamente activas fueron los silicatos de cal simples ó múltiples, con 30 á 40 por 100 solamente de sílice, es decir, silicatos básicos; y como éstos son precisamente los que encontró al analizar los buenos cementos, sacó la consecuencia de que estas sales obran en los productos hidráulicos como verdaderas puzolanas, que por la influencia del agua se combinan con la cal libre que en aquellos existe, contribuyendo á la solidificación.

Para completar esta teoría Mr. Fremy quiso demostrar que al calcinar las calizas arcillosas se obtienen puzolanas verdaderas, no existiendo hidraulicidad en el producto en cuanto se paraliza el fenómeno puzolánico, y con este objeto emprendió una nueva serie de experiencias, que le llevaron á las deducciones siguientes:

1.ª La arcilla hidratada, en su estado normal, no presenta ninguno de los caracteres de la puzolana, pero calcinada á bastante temperatura los adquiere de una manera completa y definida, independientemente de los cuerpos extraños que contiene de ordinario, tales como la magnesia, el óxido de hierro y los álcalis. En una palabra, la propiedad puzolánica pertenece exclusivamense al silicato de alúmina hidratado.

2.ª La transformación de la arcilla en puzolana depende sobremanera de las condiciones de su calcinación, verificándose el fenómeno á la vez que su deshidratación, que tiene lugar á 700°, pasados los que, no desaparecen las propiedades adquiridas, pero sí se disminuyen sus manifestaciones, resultando de ello que sometiendo las arcillas á temperaturas variables pueden obtenerse puzolanas de fraguado más ó ménos rápido.

3.ª Al deshidratar una arcilla quedan libres ciertas cantidades de sílice y alúmina que obran como verdaderas puzolanas, fenómeno que tiene lugar con la arcilla que contienen las calizas arcillosas cuando se someten á la calcinación; pero entonces no solamente se separan parte de aquellos elementos, sinó que éstos y la arcilla misma se combinan con la cal, dando por resultado dicha calcinación la formación de compuestos binarios, ternarios y más complejos aún, entre los que existen dos clases de puzolanas: unas resultantes de la simple modificación de la arcilla y otras formadas por la combinación de la arcilla con la cal.

En resúmen: Mr. Fremy, como resultado de todos sus trabajos, sentó las conclusiones de que:

Todo cemento hidráulico es una mezcla de puzolana y de cal, debiéndose el fraguado á la acción de la cal hidratada sobre la puzolana que contiene y de ningún modo á los silicatos producidos por la calcinación.

Las puzolanas presentan composiciones químicas muy diversas, pudiendo estar formadas por la sílice y por la alúmina en ciertos estados alotrópicos, por la arcilla calcinada y por silicatos simples ó dobles.

En la calcinación de una caliza arcillosa se forman diferentes puzolanas binarias y ternarias, dependiendo las propiedades hidráulicas del producto que se obtiene de la naturaleza y de la proporción de la arcilla que hay en la mezcla, y también de la temperatura á que se somete la materia primera.

V.—**Teoría de Mr. Landrin.**

Este autor, cuyas deducciones han tenido por base el estudio de la acción de la sílice en sus diferentes estados sobre el agua de cal, hizo sus experiencias con la sílice insoluble en los ácidos obtenidos por la descomposición de un silicato de potasa por un ácido, á la que le dió el nombre de sílice hidráulica; con la sílice gelatinosa, producto del tratamiento en frío por un ácido del mismo silicato de potasa; con la sílice soluble preparada por dialisis, según el método de Graham, y con la sílice resultante de la separación del ácido hidrofluosilícico.

Los tres primeros productos obraron más ó ménos rápidamente sobre el agua de cal, absorbiendo una cantidad de cal comprendida entre 30 y 38 por cada 30 de sílice, deduciendo que la fórmula correspondiente á estas proporciones debe ser la del compuesto que se forma en la acción puzolánica.

La sílice hidráulica, mezclada con proporciones variables en peso de cal pura, presenta, como las puzolanas, el fenómeno del fraguado bajo el agua, convirtiéndose el compuesto que así se forma en sílice soluble en los ácidos, creciendo su proporción en razón directa de la del tiempo de inmersión, sin que pueda suponerse que esta propiedad se deba á su estado de división, puesto que la sílice que proviene de la preparación del ácido hidrofluosilícico no fragua en ningún caso con la cal.

De todo ello saca la consecuencia Mr. Landrin que las puzolanas deben sus propiedades hidráulicas á la sílice que contienen, y que se forma en los compuestos hidráulicos durante la cocción por los silicatos en contacto con la cal y los álcalis.

Aunque esta teoría atribuye á la presencia de la sílice hidráulica la causa única del endurecimiento definitivo de los productos hidráulicos, su autor admite, sin embargo, que el aluminato de cal puede en ciertos casos contribuir, por su fraguado relativamente rápido, á facilitar la acción lenta y recíproca de la cal sobre la sílice hidráulica, impidiendo, cuando se sumerge la masa, que penetre el agua en ella; pero como por experiencias posteriores se demostró que el aluminato de cal es susceptible de disolverse progresivamente en el agua, dedujo que esta sal no pasa de ser un agente protector momentáneo sin concurrir al endurecimiento definitivo.

El compuesto que se forma por la acción prolongada de la cal sobre la sílice hidráulica, y que puede obtenerse directamente por vía seca en condiciones idénticas á las que tienen lugar en la fabricación del cemento Portland, está compuesto, como puede preverse, de cal y sílice en la relación entre una y otra materia de 1,25. A este compuesto, el autor que nos ocupa le dió el nombre de *puzo-portland.*

VI.—Teoría de Mr. Le Chatelier.

Mr. Le Chatelier, tan conocido en el mundo industrial de los productos hidráulicos, no podía dejar de coadyuvar á estos estudios con sus luminosos trabajos, y ya en 1882 presentó una nota á la Academia de Ciencias en la que dió á conocer los primeros resultados de aquellos, ampliados después en 1887 (1).

El método seguido por él, completamente nuevo en su aplicación á la materia, es el de su estudio con el microscopio polarizador. Del exámen con este instrumento de láminas delgadas de cemento Portland anhidro, resulta la existencia siempre de dos elementos constituídos: el primero y más abundante, por cristales incoloros de débil refracción, cuyas secciones

(1) *Annales des Mines*, 1887.

cuadradas ó exagonales y de contornos limpios, se parecen mucho á la del cubo; y el segundo por una masa que llena todos los intervalos del primero de color obscuro, variable entre el amarillo rojizo y el gris verduzco de doble refracción, más fuerte que la de la materia precedente, pero sin contornos cristalinos propios; y de otros tres elementos accesorios, que varían de unas á otras muestras, y que acusa uno de ellos secciones cristalinas de forma y dimensiones análogas á las primeras citadas, pero que se distinguen de ellas por su color amarillento, la ausencia completa de transparencia y la existencia de estrías muy finas inclinadas entre sí formando ángulos de 60°; el otro lo acusan cristales muy pequeños de doble refracción enérgica, y el último ciertas zonas sin acción sobre la luz polarizada.

De estos tres elementos accesorios, el primero, aunque poco abundante, se encuentra en casi todas las muestras ensayadas, el segundo suele faltar en algunas y siempre está en pequeña proporción, y el tercero, que por su carácter negativo no facilita ninguna indicación útil, tampoco siempre se halla en los cementos.

De este análisis deduce Mr. Le Chatelier la siguiente importante consecuencia.

Los cristales pseudo-cúbicos, elementos primeros de solidificación, sin fundirse, se forman por precipitación química en medio de la materia fusible, que es el elemento de segunda solidificación, el que después de haber servido de fundente, habiendo hecho posibles las reacciones químicas, se solidifica por enfriamiento y llena todos los vacíos.

Aquellos cristales pseudo-cúbicos, así como las células opacas estriadas, y tal vez también los cristales de doble refracción enérgica, están formados de sílice y de cal, siendo un silicato de alúmina, hierro y cal el fundente coloreado que llena los huecos que quedan entre los cristales.

La composición exacta del silicato de cal no fué posible determinarla, por no poderla formar sintéticamente; pero analizando las granzas de ciertas cales hidráulicas, exentas de alúmina y de óxido de hierro, en las que el microscopio polarizador había demostrado hallarse compuestas de cristales idénticos á los de los cementos cocidos, demostró que el silicato de que están formadas se acerca mucho á la fórmula $Si\,O^2$, $3\,Ca\,O$,

elemento esencial y activo del endurecimiento, siendo el silicato múltiple fundido, elemento neutro durante aquel fenómeno.

En los cementos conservados en el agua, y por consiguiente hidratados, el análisis microscópico acusó á Mr. Le Chatelier cristales exagonales voluminosos de hidrato de cal; otros muy pequeños formados por un silicato de cal, cuya composición parece ser la que corresponde á la fórmula $Si\,O^2$, $Ca\,O$, 2,5 $H\,O$, y por último, otros, agrupados, de aluminatos de cal que necesariamente deben tener la composición correspondiente á la fórmula $Al^2\,O^3$, 4 $Ca\,O$, 12 $H\,O$, puesto que es el único aluminato estable en presencia de un exceso de cal.

El autor de esta teoría, que indudablemente está llamada á ser la base del conocimiento completo de los fenómenos de la solidificación de los productos hidráulicos, reuniendo los resultados obtenidos al estudiar los cementos anhidros y los hidratados, deduce que la reacción fundamental que da lugar al endurecimiento de aquellos, es la descomposición por el agua del silicato básico de cal, de que antes hemos hecho mención, en un silicato de cal monocálcico y un hidrato de cal, representada por la ecuación siguiente:

$$Si\,O^2,\ 3\,Ca\,O + \text{Agua} = Si\,O^2,\ Ca\,O,\ 2{,}5\,H\,O + 2\,Ca\,O, H\,O.$$

Supone también, aunque con reservas, que se forma un aluminato de cal básico, cuya rapidez de hidratación interviene en que el fraguado sea más ó ménos rápido en los diversos cementos.

En cuanto al hierro, no admite que desempeñe papel alguno activo en el fraguado de los cementos Portland, porque si hubiese formación del ferrito de cal, se le reconocería inmediatamente por la coloración roja oscura que tomaría por el ácido carbónico al dejar en libertad el óxido de hierro hidratado. Por el contrario, en los cementos de fraguado rápido, la existencia de aquel compuesto la considera indiscutible.

VII.—Teoría de Mr. Merceron-Vicat.

En los estudios que Mr. Vicat hizo sobre las puzolanas, formuló su opinión diciendo que «las cales hidráulicas ó los silicatos de alúmina y de cal no se pueden apagar mientras no se separe la cal cáustica en total

ó en su mayor parte», y esta es la hipótesis que ha servido á su nieto, el actual director de las fábricas de la Sociedad L. Vicat, para establecer su teoría, que expuso en el Congreso de 1885 habido en Grenoble, y organizado por la Asociación francesa para el adelanto de las ciencias.

Establece Mr. Merceron-Vicat (1) el hecho de que cuando la sílice gelatinosa en suspensión en el agua, pasa á través de una masa de arena, ésta le sirve de filtro, reteniendo aquella materia que se introduce entre los granos de arena, secándose, endureciéndose y convirtiéndose el conjunto, al cabo de cierto tiempo, más ó ménos largo, en un grès; y supone que, análogamente á esto, una cal hidráulica no es otra cosa que una mezcla de cal grasa y sílice gelatinosa, sin que el fenómeno de convertirse la arcilla insoluble de la caliza en arcilla soluble, para que aparezca la sílice gelatinosa después de la cocción, lo explique más que por la acción del calor.

Esta distinta manera de ver la cuestión del endurecimiento de los productos hidráulicos, considerándola como un fenómeno de índole puramente física, la deduce de varios hechos, de los que rápidamente bosquejaremos los más principales.

Todo producto hidráulico pulverizado se puede descomponer totalmente por el agua, y si la consolidación resultase por la formación de una sal compuesta de sílice, alúmina y cal, no podría tener lugar cuando se amasa el mortero, puesto que entra como factor el agua que la descompondría.

Cuando se examina con el microscopio una pasta de cal hidráulica colocada entre dos láminas de vidrio, se observan granos soldados unos á otros, viéndose en los bordes partículas de cal que son arrastradas por el agua cuando se comprime la materia por las mismas láminas.

Si existiesen combinaciones entre los cuerpos primeros, la dureza de una cal no sería la misma en todos los puntos de la masa, y en las cales poco hidráulicas se presentarían nudos de dureza mayor, unidos por la cal grasa.

En los moldes de ensayo se observa que la dureza es mayor en la superficie que en el centro, y si la consolidación se debiese á un silicato, el

(1) *Chaux hydrauliques et cements.*—Grenoble, 1885.

fenómeno se presentaría al revés, puesto que dicho silicato se descompondría más fácilmente en dicha superficie.

Todos estos hechos, que no tienen explicación por las teorías de las sales definidas, pueden tenerla, hasta cierto punto, por la consideración de una simple mezcla.

En efecto, cuando en una masa arenosa constituída por partículas de cal grasa, después de su entumecimiento, se introduce una cierta cantidad de arcilla gelatinosa, ésta forma una especie de masa de celdas, que se llenan con partículas de arena. La consolidación se verifica por la desecación de la arcilla y la carbonatación de la cal, fenómeno que es del mismo género que el que en la naturaleza ha producido el granito.

Para reforzar esta teoría cita el autor la experiencia siguiente: Si se cortan en láminas delgadas las cales y los cementos una vez fraguados, y se las observa entre los nicols cruzados del microscopio, se nota que las láminas parecen estar compuestas de cristales pequeños, independientes entre sí, que obran enérgicamente sobre la luz polarizada, y que son de dos naturalezas diferentes: unos formados después del amasado de la cal, y otros resultantes de una pulverización imperfecta. A aquellos cristales es á los que se debe atribuir el endurecimiento, y no á la especie de mortero que los une entre sí y entre el que se hallan diseminados.

VIII.—**Teoría del doctor Michaëlis.**

El doctor Guillermo Michaëlis, en un estudio publicado en 1887 (1), presenta una teoría especial sobre la solidificación del cemento Portland, aceptando para las cales hidráulicas las opiniones de Fuchs.

Estudiando los fenómenos que se verifican en la fabricación del cemento Portland, deduce que este material elaborado está constituído, bien por una agrupación de ácido silícico, alúmina, óxido de hierro y cal, cuyos cuerpos por virtud del fuego tienen disposiciones tales que sometidos á la acción del agua, cuando se amasan, reaccionan fácilmente entre sí; bien por una mezcla de compuestos más ó ménos determi-

(1) *Das Wesen und der Erhärtungs-Process des Portland-Cements.*—Berlin, 1887.

nados, tales como los silicatos, aluminatos y ferratos de cal, dependiendo el mayor ó menor grado en que se presentan estas prévias combinaciones, de la temperatura á que se llega en la cocción, y muy particularmente del tiempo de duración de esta temperatura.

En cualquiera de las dos hipótesis, el ácido silícico y la alúmina se presentan con caracteres hidráulicos, es decir, convertidos en puzolanas, de manera que puestos en contacto con el hidrato de cal puedan fraguar enérgicamente.

Según las experiencias del doctor Michaëlis, cuando todos estos compuestos están en presencia del agua, el ácido silícico se combina únicamente con un equivalente de cal, ó por lo ménos la cal formada en estas condiciones es la más estable, de manera que si hay exceso de cal, hay también desprendimiento de hidrato de esta base en formas cristalinas, cuyo desprendimiento está favorecido, además, por las pequeñas cantidades de álcalis que hay en los cementos.

Los aluminatos y los ferratos de cal se descomponen fácilmente por la acción del agua, en especial los últimos; pero como la alúmina es el cuerpo que más favorece la hidratación de la cal, el aluminato absorbe el agua con rapidez, mientras que al ferrato le pasa todo lo contrario, de manera que á esta sal no se le puede conceder importancia ninguna como factor de hidraulicidad, como no sea en concepto de moderador de la velocidad del fraguado.

Aún aceptando la formación de un ferrato doble de alúmina y cal, como quieren algunos, siempre habrá de aceptarse, dadas las consideraciones anteriores, que la mayor ó menor hidraulicidad del compuesto depende respectivamente de cuál sea la acción predominante entre los cuerpos alúmina y óxido de hierro.

Todas las combinaciones de la cal con el ácido silícico y con la alúmina aumentan algo en volúmen, por absorción del agua, aumento que aunque se verifica con mucha lentitud persiste por largo tiempo, produciendo este fenómeno el cambio de textura, que de ser en su período inicial granulosa, pasa á ser vítrea compacta.

Los desprendimientos de hidrato de cal, de que antes hemos hecho mención, cuando esta base se halla en exceso en presencia del ácido silícico, dan lugar á la descomposición por el agua de los silicatos básicos

y aún de aquellos en que sólo entra un equivalente de cal, por mas que éstos sean los que, por decirlo así, retienen el agua con más tenacidad. Este hecho, que, según el autor de estos estudios, es general, necesita una explicación de por qué no se verifica el fenómeno en los cementos bajo el agua, cuando parece se debía hallar en el medio más apropiado para su total descomposición.

Dice el doctor Michaëlis que no es la naturaleza química de los morteros hidráulicos la que determina por sí la composición que adquieren bajo el agua, sinó más bien su naturaleza física y la absorción del ácido carbónico, por cuya virtud queda protegido el mortero por una capa de carbonato de cal que lo preserva de la acción destructora del agua; porque siempre que el hidrato de cal y sus compuestos con el ácido silícico, la alúmina y el hierro están en contacto con el ácido carbónico influído por la humedad, este ácido ataca primero al hidrato de cal, cambia su estructura y concluye por cerrarse el paso á sí mismo, que de no hacerlo iría descomponiendo sucesivamente, primero, la combinación con el hierro ménos estable, luego el aluminato y finalmente el silicato.

Si el cemento contiene solamente silicatos de cal, su empleo bajo el agua no ofrece inconveniente alguno, aunque no se forme el carbonato protector, puesto que los carbonatos resultantes de la descomposición de aquella sal son insolubles; pero si el cemento hubiese de emplearse expuesto al aire, el inconveniente resultaría gravísimo, puesto que el ácido silícico hidratado que quedase libre cede fácilmente su agua al aire, cuando éste se halla en estado seco, y disminuye notablemente de volúmen. A esta propiedad se debe el fenómeno que se observa en muchos cementos compuestos casi exclusivamente de silicatos de cal, cuyas masas empleadas en construcciones expuestas al aire se agrietean y disgregan por completo.

En los cementos Portland aparecen en muchos casos como componentes secundarios los sulfuros y sulfatos cálcicos, cuyas combinaciones de azufre concurren con el tiempo á la formación de un sulfato básico de cal que llega á absorber hasta siete equivalentes de agua, con aumento grande de volúmen y destrucción de la masa.

En resúmen y condensando, según el autor que extractamos, la composición del cemento Portland, para cuyo material, como ya hemos

dicho, ha hecho principalmente sus estudios, es, en primer término, la de un hidrosilicato de cal, y en segundo, la de hidroaluminatos é hidroferratos de cal, hidrato de cal, sulfato básico de cal y carbonato de cal, siendo muy beneficiosa al mortero la absorción del ácido carbónico en cuanto no le haya perjudicado por la desecación ó por contribuir á una contracción perniciosa.

IX.—Teoría de Mr. H. Bonnami.

El difunto ingeniero director de las fábricas de Malain, Mr. Bonnami (1), partiendo como base de la teoría de Mr. Le Chatelier, que como dejamos dicho admite que la descomposición es la causa primordial de la solificación y que el único elemento activo es el silicato tricálcico, examina si esta aserción se confirma por los hechos que se observan en la práctica.

Es absolutamente cierto que los aluminatos de cal se alteran en el agua, pero cuando no son muy básicos, pueden producir la solidificación y son susceptibles de aglomerar las materias inertes, como el cuarzo, debiéndose á aquella sal el fraguado rápido de los cementos de este nombre; y lo es también que, cuando la cocción de un cemento se prolonga, el tiempo de su fraguado es mayor; de lo que hay que deducir que los aluminatos desaparecen, pues si así no sucediera, lo único que podría pasar es que se hicieran más básicos, en cuyo caso el fraguado se aceleraría y la resistencia ulterior del producto disminuiría, puesto que es sabido que aquellas sales básicas se entumecen lo mismo que la cal viva. Hay, pues, que aceptar, visto que lo que sucede en la práctica al aumentar el tiempo de cocción es que el fraguado se prolonga y la resistencia ulterior aumenta, que la sílice reacciona sobre los aluminatos primitivos y se forman silicatos dobles de alúmina y de cal, siempre que la alúmina no se halle en exceso.

Si además se considera que el cemento rápido se transforma en puzolana por una larga exposición al aire ó por la vitrificación, es imposible dejar de admitir que el fenómeno puzolánico desempeña un papel

(1) *Fabrication et contrôle des Chaux hydrauliques et des ciments.*—Paris, 1888.

importantísimo en el de la solidificación de los productos hidráulicos. En ambos casos de exposición al aire ó de vitrificación, los fenómenos son distintos, aunque el resultado final sea el mismo. En el primero, en el que realmente se avería el producto, la cal libre que existe después de la cocción, y la que proviene de la descomposición de los aluminatos, se apaga y se carbonata, y el producto se hace inerte; pero si se agrega nueva cal, las condiciones primeras se reproducen y viene á hacer el cemento averiado el papel de la puzolana.

En el segundo caso de la vitrificación, el producto no contiene aluminatos, y como en las condiciones de agua con que se amasan los morteros, los silicatos de cal y los dobles de alúmina y cal son casi inalterables, el producto también es inerte, por no tener más cal que la combinada, y hace falta una nueva cantidad de esta materia para que el producto obre y reaccione como la puzolana.

Todos los productos hidráulicos son el resultado de la cocción de una mezcla íntima de los tres elementos, cal sílice y alúmina, estando siempre acompañada su solidificación de la descomposición de las sales básicas, de manera que hay que averiguar si la descomposición es la causa preponderante de la solidificación, ó si no produce otro efecto que dejar en libertad la cal apagada y en presencia de elementos en su máximo poder puzolánico.

A priori puede hacerse el razonamiento siguiente: Si no se consigue el fraguado con sales que no se descomponen por el agua, pero que son solubles en los ácidos fuertes y pueden considerarse como puzolanas, es porque no hay cal libre que dé lugar al fenómeno puzolánico; y si, por el contrario, se consigue el fraguado en las sales que se descomponen por el agua, no es más que efecto de que una parte de la cal queda en libertad, y encontrándose en presencia de moléculas puzolánicas se produce el fenómeno de la solidificación, que se prolonga tanto cuanto dura la descomposición.

Por la acción de la cal, que proviene de las sales alterables, sobre las inalterables en cuya presencia se halle, es por lo que se produce la solidificación y se obtienen resistencias grandes en los productos hidráulicos.

Estos razonamientos, muy condensados, de los que Mr. Bonnami da

en su obra, le sirven de base para establecer su teoría con arreglo á las leyes generales de la Mecánica química en la forma siguiente:

Si la descomposición de las sales básicas en presencia del agua es cierta, la de la combinación de la cal con las puzolanas ó sales poco básicas no lo es ménos, y hay que admitir que existe para cada naturaleza de las sales, y según las condiciones de hidratación en que se encuentren, una composición que corresponde al equilibrio entre dos reacciones inversas, una exotérmica y otra endotérmica.

Sea esta relación

$$M, m\ Ca\ O, n\ H\ O.$$

En la que M representa el ácido silícico ó el silicato de alúmina y m y n dos coeficientes.

Pueden considerarse tres casos distintos:

1.° Todas las sales cuya composición corresponda á $M\ m\ Ca\ O$ se disolverán progresivamente y se verificará una disolución de $M, m\ Ca\ O$, en la que se depositarán cristales de $M, m\ Ca\ O, n\ H\ O$. Este será el caso de los aluminatos de cal, y la ecuación será

$$M, m\ Ca\ O + \text{Agua} = M, m\ Ca\ O, n\ H\ O + \text{Agua};$$

siendo el fraguado rápido, porque no proviene ni de la descomposición ni de la combinación, dependiendo sólo de la velocidad de disolución.

2.° Todas las sales que correspondan en su composición á la forma $M\ (m + p)\ Ca\ O$ sufrirán por el agua la descomposición representada en la ecuación

$$M(m + p)\ Ca\ O + \text{Agua} = M, m\ Ca\ O + n\ H\ O + p\ Ca\ O, H\ O + \text{Agua},$$

es decir, depósito de cristales é hidrato de cal.

3.° Todas las sales cuya composición sea de la forma $M\ (m - r)\ Ca\ O$ serán inertes si no hay cal disponible; pero si se le agrega ó si se tienen sales básicas que la produzcan, habrá combinación representada en la ecuación siguiente:

$$M\ (m - r)\ Ca\ O + s\ Ca\ O, H\ O + \text{Agua} = M, m\ Ca\ O, n\ H\ O + (s - r)\ Ca\ O, H\ O + \text{Agua},$$

en la que $(s - r)\ Ca\ O, H\ O$ representa el hidrato de cal en exceso, que hace el papel de materia inerte en las cales hidráulicas.

La disolución $M, m\ C\ a\ O$ estando sobresaturada con relación á la $M, m\ C\ a\ O + n\ H\ O$, ésta se deposita cristalizando, lo que determina la solidificación.

En resumen: el endurecimiento es el resultado de una cristalización producida por la sobresaturación debida á la diferencia de solubilidad de las cales anhidras é hidratadas.

Las que son susceptibles de disolverse en el estado anhidro é hidratarse en seguida, llegan á la estabilidad por dos vías contrarias y sucesivas: la descomposición y la combinación.

Las que presentan la combinación de equilibrio en el momento de la hidratación sufren la disolución, la hidratación y la combinación, sin descomposiciones preliminares. Este es el caso del fraguado de las puzolanas.

La solidificación por descomposición es, generalmente, mucho más activa que la de por combinación, porque aquella se hace mucho más rápidamente, existiendo además la hidratación de la cal, que produce siempre un desprendimiento de calor que acelera considerablemente la solidificación, según lo demuestran las experiencias ejecutadas con los cementos de escorias tratados por el agua caliente.

CAPÍTULO X.

ANÁLISIS DE LOS PRODUCTOS HIDRÁULICOS

Y DE LAS PRIMERAS MATERIAS

QUE ENTRAN EN SU FABRICACIÓN.

I.—Análisis de las calizas.

Las substancias que generalmente se encuentran en las calizas, son:

Carbonato de cal, materias volátiles, arena fina, arcilla, carbonato de magnesia, arena en granos, óxidos de hierro y de magnesio y sulfato de cal.

De estos hay varios elementos, cuya dosificación puede hacerse de una manera muy sencilla, como vamos á explicar:

Determinación de la arena gruesa. Se tratan 20 gramos de caliza por el ácido nítrico diluído, y cuando el ataque se ha terminado se lava por decantación en muchas aguas el resíduo insoluble, procurando arrastrar la arena fina. Los granos que quedan en la cápsula constituyen la gruesa, que se pesan después de lavados y desecados.

Dosificación del agua higrométrica. Por la diferencia del peso obtenido antes y después de desecada en una estufa á 120 grados centígrados, una cápsula de platino, tarada, en la que se hayan puesto 10 ó 12 gramos de caliza pulverizada; se obtiene la cantidad de agua higrométrica que tiene esta última materia.

Dosificación del ácido carbónico. Entre los métodos que se emplean para dosificar el ácido carbónico de los carbonatos, bien sea por calcinación, bien tratándolos por un ácido, el más sencillo que nosotros usamos constantemente, es el del aparato Geissler, perteneciente al segundo método. Consiste dicho aparato en un pequeño frasco de dos bocas, en una de las cuales se adapta un pequeño tubo de cristal, que permite, por medio de una llave, que el líquido que contiene caiga gota á gota en el inte-

rior del primero, y en la otra, que se encuentra en comunicación con el interior del frasco, por medio de un tubo encorvado, un segundo recipiente que puede contener ácido sulfúrico ú otra cualquiera materia desecadora.

En el fondo del frasco se echan 2 ó 3 gramos de la caliza pulverizada y se llena el recipiente de la primera boca con ácido clorhídrico diluído al medio. Una vez que se haya también cargado, según hemos dicho, el recipiente desecador, se pesa todo el aparato, y anotado que sea el peso, se deja caer poco á poco el ácido clorhídrico sobre la caliza y comienza la reacción desalojando el ácido carbónico, que para salir á la atmósfera está obligado á pasar á través del ácido sulfúrico, el que detiene la humedad que pueda arrastrar. Cuando la efervescencia termina y se ha agitado muchas veces el aparato, se insufla aire en el interior con una pipeta para que salga el ácido carbónico que haya quedado, y pesado después nuevamente el aparato, la diferencia entre ambos pesos dará la cantidad de ácido carbónico que contenía la porción de caliza ensayada.

Dosificación del agua combinada. Reducidos á polvo y desecados 5 gramos de caliza y puestos en un crisol de platino tarado, se calcina á alta temperatura, pesándose después de enfriado. La diferencia de peso entre los 5 gramos primitivos, más el del crisol y el que resulte en la segunda operación, indicará el peso correspondiente al agua combinada y al ácido carbónico que se han volatilizado por la calcinación. La porción del agua combinada solamente puede deducirse disminuyendo de la suma de los dos elementos lo que corresponda al ácido carbónico, ya conocido por la operación anterior.

Dosificación del sulfato de cal. Se ponen 20 gramos de caliza pulverizada y tamizada en un frasco de un par de litros lleno de agua destilada, donde se deja en digestión durante muchos días, cuidando de agitarlo frecuentemente para que se disuelva completamente el sulfato de cal. Cuando ya haya pasado tiempo bastante para suponer fundadamente que toda aquella sal está disuelta, se filtra y se evapora el líquido filtrado para conocer la materia disuelta.

Generalmente conviene dosificar separadamente el ácido sulfúrico y la cal. Para esto, en vez de evaporar el líquido filtrado se le agita para

hacerlo homogéneo y se le divide en dos partes completamente iguales por medio de una probeta graduada. Una de ellas se satura con amoniaco y se le agrega óxalato de amoniaco, se le hace hervir, se decanta, se filtra y lava. Se calcina el oxalato de cal obtenido á alta temperatura y se obtiene la cal.

A la otra porción del líquido se le agregan algunas gotas de ácido clorhídrico y después cloruro de bario para precipitar el ácido sulfúrico; se calienta, se deja reposar, se filtra y se lava, secando y calcinando el resíduo, que es sulfato de barita. Del peso de éste se deduce el del ácido sulfúrico por la composición centesimal de esta sal ($B\,a\,O = 65{,}71$; $S\,O^3 = 34{,}29$).

Dicho se está, que los resultados obtenidos para la cal y para el ácido sulfúrico corresponden á la mitad del peso de caliza que se ponen en digestión.

Dosificación del resto de los cuerpos. Si la caliza no contiene sulfato de cal ó lo tiene en tan pequeña cantidad que el análisis anterior no acusa más que trazas de aquel compuesto, se opera con la caliza misma; de lo contrario, hay que hacerlo con la materia que ha quedado después de la disolución del sulfato de cal.

En uno ú otro caso se toman 5 gramos de la materia y se la ataca por el ácido nítrico diluído, se evapora hasta la sequedad, y el resíduo obtenido se le vuelve á tratar por el ácido nítrico, se le agrega agua destilada, se calienta, se filtra y se lava el resíduo. De este modo se obtiene una parte sólida que designaremos por A, y un licor que lo haremos por B.

La parte A contiene la arena, la arcilla y la sílice que proviene de una parte de la arcilla atacada por el ácido nítrico. Se pesa y se le trata por una disolución débil de potasa á la temperatura de 50° centígrados; se lava la parte insoluble, se filtra por un filtro tarado, se lava de nuevo y deseca á 100° centígrados, hasta que dé un peso constante que se anota. La diferencia entre los dos pesos acusará la cantidad de sílice disuelta por la potasa, la que hay que tener en cuenta para sumarla con la demás sílice que resulte en las operaciones posteriores.

La materia insoluble en la potasa se ataca en un crisol de platino por cuatro veces su peso de bicarbonato de sosa muy puro, y cuando se

termina el ataque se pone el crisol frío en una cápsula que contenga agua con ácido clorhídrico, se calienta, se lava el crisol dentro de la cápsula y se evapora hasta la sequedad; se vuelve á tratar el resíduo por el ácido clorhídrico, se le agrega agua destilada, se calienta, se filtra y se lava el resíduo, que es la sílice, la que se pesa después de desecada.

El licor filtrado se trata por el amoniaco, se hace hervir, se deja reposar, se filtra y se lava el resíduo alúmina, que se pesa después de calcinada.

El licor *B* contiene óxido de hierro, alúmina, cal y magnesia. Se evapora hasta la sequedad y se calienta bastante para descomponer los nitratos de hierro y alúmina; se deja enfriar y se agrega una disolución saturada de nitrato de amoniaco, calentando el conjunto durante doce horas. La cal y la magnesia se disuelven, se filtran, se lava el resíduo insoluble, que contiene alúmina y óxido de hierro, se calcina y se pesa.

En el licor se precipita la cal por el oxalato de amoniaco, se hace hervir, se deja reposar, se filtra y se lava.

En el nuevo licor filtrado se precipita la magnesia por el fosfato de sosa y un exceso de amoniaco; se agita con cuidado y se deja reposar hasta el día siguiente. Se recoge el pirofosfato de magnesia, se le lava con agua amoniacal, se le seca, calcina y pesa, y de su peso se deduce el de la magnesia ($2\ Mg\ O = 36{,}04$; $P\ h\ O^5 = 63{,}96$).

Se separa la alúmina y el óxido de hierro en un crisol de plata por medio de la potasa al alcohol, poniendo en aquél el precipitado con cuatro veces su peso de potasa, calentándolo con precaución para expulsar el agua de la potasa; se aumenta después progresivamente la temperatura hasta el rojo oscuro, sosteniéndola durante unos diez minutos y cuidando de agitar la materia fundida con una espátula. Retirado el crisol del fuego se le deja enfríar metiéndolo en una cápsula con agua destilada, caliente, donde se lava. Se hace hervir, se retira la cápsula del fuego, se le deja reposar, se filtra y se lava el resíduo de óxido de hierro, que después de lavado y desecado se pesa.

El licor filtrado se satura con ácido clorhídrico, se agrega amoniaco que precipita la alúmina, se le hace hervir, se le deja roposar y se filtra y se lava, desecándolo por calcinación y pesándolo.

El peso de la alúmina, así encontrado, se combina, por el cálculo, con

el doble de su peso de sílice y se tiene de este modo el peso de la arcilla contenida en el precipitado *A*. Restando este peso del que da el depósito de arcilla y arena se obtiene el de ésta.

II.—**Análisis de las arcillas.**

Se toman 5 gramos de arcilla en una cápsula de platino, tarada, que se calienta hasta 100° centígrados y se pesa. La diferencia entre uno y otro peso acusa el agua higrométrica. Esta operación debe hacerse con mucho cuidado para no dar lugar á la descomposición de las materias orgánicas.

Igual operación, pero calcinándola hasta el rojo, da el peso en junto del agua higrométrica, del agua combinada, del ácido carbónico y de las materias bituminosas.

El ácido carbónico, sólo, se dosifica tratando 3 gramos de arcilla por el ácido clorhídrico diluído. De la disolución se toma un volumen determinado que se trata por otra de cloruro de bario, mezclada con amoniaco. Se tapa el frasco y se le deja reposar por algunos días, durante los que se precipita el carbonato de barita. Se filtra, se recoge el precipitado y se lava con agua amoniacal, teniendo el filtro tapado con una placa de vidrio para evitar, en cuanto sea posible, la presencia del aire. Se le deseca, calcina y pesa. Cada 100 partes de carbonato de barita contienen 22,31 de ácido carbónico.

Sumando los pesos de agua higrométrica y de ácido carbónico y restando la suma de la pérdida de peso que ha dado la calcinación, la diferencia da la cantidad de agua combinada y las materias bituminosas.

La arena contenida en la arcilla se obtiene lavando 100 gramos de la materia desleida en agua, por decantaciones sucesivas, hasta que no quede en el fondo de la cápsula otra cosa que arena. Se recoge sobre un filtro, se la deseca y se pesa.

Esta arena puede contener granos de carbonato de cal ó de dolomia; se la trata por un ácido diluído de modo que se disuelvan los carbonatos, se filtra, lava, deseca, calcina y pesa el resíduo, y por diferencia con el peso encontrado antes, se tiene la cantidad de caliza que contiene.

El resto de la operación se hace del modo mismo, explicado antes, al tratar en las calizas de la determinación de la arcilla y sus componentes.

III.—Análisis de las cales hidráulicas y de los cementos.

Según Rivot los cuerpos que generalmente contienen estos productos, son:

El agua que han podido absorber desde el momento en que la caliza ha estado sometida á su máximo de temperatura.

El carbonato de cal que no se haya descompuesto en la cocción ó que se haya formado después.

La cal en estado cáustico ó de hidrato.

La magnesia libre.

La sílice, la alúmina, la magnesia y la cal, que, por sus combinaciones y su hidratación, constituyen realmente la hidraulicidad de la materia.

El óxido de hierro, la arena gruesa y algunas veces la arcilla.

El sulfato de cal.

Por la pérdida de peso en la calcinación al rojo vivo de unos cuantos gramos de materia, se puede conocer las cantidades de agua y ácido carbónico, pudiéndose determinar este último cuerpo por el método descrito para las calizas.

Se introducen á la vez 4 á 6 gramos de producto, bien pulverizado, en un gran frasco lleno de agua destilada, recientemente hervida para que no contenga aire alguno, y se tapa perfectamente para que no éntre de nuevo aquel gas, agitando el conjunto con mucha frecuencia durante tres días, por lo menos, para evitar el fraguado de la cal ó del cemento. El agua disuelve la cal cáustica, la hidratada y el sulfato de cal, pero obra también descomponiéndolo, por lo menos, en parte, sobre el aluminato de cal, quitándole parte de la base, lo que da lugar á una incertidumbre muy grande desde el punto de vista de la apreciación por análisis de las combinaciones á que da lugar el fraguado. El único medio, no muy seguro, de evitar esta descomposición, es el de no prolongar por más de dos días la digestión en el agua del producto hidráulico, pero en cambio de esta poca probabilidad de acertar, se cae en el inconve-

niente de no disolver la totalidad del sulfato de cal que pueda contener la materia.

La disolución que de una ú otra manera se obtenga, se divide en dos partes, de las que una sirve para dosificar la cal por el oxalato de amoniaco, y la otra para dosificar el ácido sulfúrico, del que se deduce el sulfato de cal, según hemos dicho. El resíduo obtenido al filtrar aquella disolución, debe emplearse para las operaciones siguientes.

Consisten éstas en tomar 3 ó 4 gramos de materia que se ataca por el ácido nítrico, y de la disolución así obtenida se dosifica como en las calizas el óxido de hierro, la alúmina, la cal y la magnesia.

El resíduo insoluble en el ácido nítrico retiene la sílice de los silicatos formados durante la cocción, la arena inerte, y algunas veces arcilla, sobre la que no ha ejercido acción la cal. Dicho resíduo, una vez desecado y pesado, se trata por una disolución débil de potasa, la que disuelve solamente la sílice, que filtrada que sea, y desecado y pesado el resíduo, dará el peso de la arena y de la arcilla, y por diferencia el de la sílice.

Si la arcilla resulta estar en cantidad apreciable, hay que dudar de las proporciones obtenidas para la sílice y la alúmina antes dosificadas; pero esto es muy raro que suceda, y en la mayor parte de los casos, el resíduo insoluble en la potasa se compone exclusivamente de arena cuarzosa, ó por lo ménos es tan pequeñísima la cantidad de arcilla que le acompaña, que se puede despreciar sin error sensible.

Terminado el análisis, pueden interpretarse los resultados hasta cierto punto, si la proporción encontrada de magnesia no es muy notable, porque esta base, siendo casi insoluble en el agua, no es posible deducir la fracción de ella que esté en el estado libre y la que se halle combinada con la sílice y con la alúmina.

Cuando tal cosa no suceda, conocidas como son las proporciones de la cal, del ácido carbónico y del ácido sulfúrico, pueden deducirse por el cálculo las fracciones que se encuentran en estado de carbonato y de sulfato, así como la que se halle en estado cáustico ó de hidrato, siendo el resto el que se halla combinado con la sílice y la alúmina. La composición del aluminato puede obtenerse con cierta aproximación, comparando las cantidades diferentes de cal que se disuelven en el agua, cuan-

do se opera sucesivamente con un exceso de líquido y con una cantidad tan débil como sea posible, disminuyendo, por supuesto, del resultado obtenido, el peso de la cal disuelta en estado de sulfato.

IV.—Análisis de las puzolanas.

El método que Mr. Rivot indica para estos análisis, consiste en atacar por el ácido nítrico puro y concentrado 5 gramos de la puzolana pulverizada, y después de una acción prolongada por veinticuatro horas á 50° ó 60° centígrados, evaporar hasta la sequedad el producto obtenido, que se debe de nuevo atacar por el ácido nítrico diluído. En el licor ácido resultante se dosifica la alúmina, el óxido de hierro, la cal, la magnesia y los álcalis, según ya sabemos.

El resíduo insoluble, después de calcinado y pesado, se le hace digerir durante doce horas en una disolución débil de potasa á 40° centígrados, y después de bien lavado en esta disolución, desecado y calcinado, se le pesa de nuevo, considerándose la diferencia entre los dos pesos obtenidos como el correspondiente á la sílice hecha soluble por las acciones sucesivas del ácido y del álcali.

Para completar el análisis falta determinar la composición de la parte del silicato que no ha sido atacado por los dos reactivos, y esto se consigue mezclándola íntimamente con un peso igual de cal perfectamente pura, calcinando la mezcla al rojo vivo. Después que se ha enfriado la mezcla, se la ataca por el ácido nítrico y se dosifican la sílice y las bases, descontando de la cal resultante el peso de la que se ha agregado para hacer atacable el silicato.

CAPÍTULO XI.

ENSAYOS DE LOS MATERIALES HIDRÁULICOS.

I.—Conveniencia de la unificación de los métodos.

Desde que los materiales hidráulicos han tomado la importancia que realmente tienen en la actualidad en las construcciones, viene trabajándose para conseguir uniformidad en los métodos que han de seguirse para su ensayo antes de la recepción. Hasta 1877 sólo se trataba de conocer el peso volumétrico de los materiales y el tiempo de duración de su fraguado; pero ya en aquel año se instituyeron las normas alemanas, aplicables solamente á los cementos Portland, las que prescribían como ensayo decisivo la resistencia á la tracción, y sólo como accesorios la finura de su molido, la duración del fraguado y la invariabilidad del volumen. En 1878, la *Unión de los arquitectos é ingenieros austriacos* publicó las normas igualmente aplicables al mismo cemento, generalizadas dos años después á todos los productos hidráulicos, sin que sus prescripciones defirieran más que en pequeños detalles de las que se habían dado en Alemania. Rusia, Suecia y Suiza siguieron las huellas de las dos primeras naciones, introduciendo la última de las nombradas, en 1883, la resistencia á la compresión.

Los pliegos de condiciones redactados por los ingenieros Mres. Guillain y Vetillard dieron un gran paso en esta materia, y los estudios presentados y discusiones habidas en los Congresos sucesivos que han tenido lugar van señalando el camino, que al fin seguramente se recorrerá, obteniendo los resultados, muy necesarios y convenientes para los ingenieros encargados de la recepción de los materiales, y de no ménos conveniencia para las fábricas productoras de los materiales, que hoy se hallan en situación poco ventajosa para competir entre sí, por ser repe-

tidos los casos en que, según el criterio del director de la obra, se da ó se quita importancia á unos ú otros ensayos, y lo que unos consideran como secundario para el valor del producto, otros suponen es condición esencial para su recepción.

Las naciones que tienen sus prescripciones normales constituyendo un cuerpo legal de doctrina, han podido ya tocar sus positivas ventajas; pero ni aquéllas han llegado entre sí á un acuerdo concreto, ni, lo que más nos interesa, en España existe nada que no sean los buenos deseos de los autores de los pliegos de condiciones, quienes en sus trabajos sólo pueden reflejar las ideas teóricas que han leído en los libros ó las prácticas que en las construcciones han podido adquirir, y que necesariamente han de ser deficientes, porque la vida de un hombre es muy corta para juzgar de los resultados de los materiales en una construcción que ejecute. El establecimiento de los ensayos de laboratorio se impone, como se impone también que nuestros constructores entren en el concierto europeo para coadyuvar al fin que se propone y convertir en hechos dentro de nuestro país los acuerdos que se tomen.

Claro es que estas mismas deficiencias que aquí señalamos tienen que hacerse sentir en toda esta Memoria y muy particularmente en lo que á ensayos se refiere, y de los que seguidamente vamos á ocuparnos; pero al hacer este trabajo, que sólo constituye la primera parte ó bosquejo teórico de las ideas predominantes, únicamente nos proponemos señalar el camino seguido para hallar las consecuencias prácticas que en su día habremos de publicar y que en algún tiempo (más de tres años), hemos podido recoger en el gabinete de ensayos.

El análisis químico, por sí solo constituye un medio de darse cuenta del valor del producto, puesto que, conocidos los componentes, fácilmente se deducen los defectos que presentará en su aplicación en obra. En las cales hidráulicas, por ejemplo, la existencia de una dósis siquiera regular de ácido carbónico demuestra que el material no está bien cocido ó que por su mucho tiempo de fabricado y expuesto al aire se ha carbonatado. Si se encuentra la arena en proporciones notables, es casi seguro que la caliza empleada no ha sido homogénea ó la selección de la piedra en la cantera no se ha hecho con escrupulosidad. La falta de agua en la cantidad necesaria acusará certeza de que contiene el mate-

rial cal sin hidratar, asi como que aquel sufrirá variaciones en su volumen después de amasado.

Sin embargo de esto, bien sea por las dificultades que lleva consigo el establecimiento de un laboratorio químico, bien porque las indicaciones que da un análisis de esta naturaleza no siempre son terminantes ni se comprueban en la práctica, el hecho es que hay una marcada tendencia á suprimir este análisis, ó por lo ménos á hacerlo muy á la ligera, conformándose, para formar juicio, con los resultados que proporcionan los ensayos siguientes:

Densidad y peso volumétrico del producto.
Finura de su polvo.
Duración del fraguado y sus condiciones.
Estabilidad del volumen.
Ensayos de resistencia á la tracción y á la compresión.
Idem de la adherencia.
Idem de permeabilidad.

II.—**Densidad y peso volumétrico.**

En los materiales hidráulicos hay que considerar de una manera independiente la densidad y el peso volumétrico, dándoles á los resultados que se obtienen al determinar cada una de aquellas propiedades el valor que realmente tienen. Durante mucho tiempo han venido confundiéndose ambas cosas, tomando como densidad real ó peso específico la densidad aparente ó peso volumétrico, que, como es natural, varía mucho, según el grado de compresión que por su propio peso adquiera la materia, y según la cantidad de material con que se haga la experiencia.

La determinación del peso específico podrá en algunos casos hacer suponer la existencia de materiales extraños al verdadero producto hidráulico de que se trate, tales como cenizas del combustible ú otras agregadas de mala fe; pero esto mismo puede deducirse con probabilidades de éxito cuando se haga uso sólo del peso volumétrico. Sin embargo, en los gabinetes bien montados se aplican siempre los medios necesarios para determinar aquella densidad, que suelen ser los ordinarios y conocidos, ó bien el empleo de algunos densímetros sencillos, que llegan

á dar una exactitud casi completa. Uno de los más cómodos es el aparato de Mrs. Brase y Vlasto, que es sólo una modificación del gravímetro del ingeniero inglés Mister Mann. Se compone aquél de un vaso de densidad móvil á lo largo de una varilla vertical, que tiene una línea de referencia, y de una bureta graduada en centímetros cúbicos, fija á la misma varilla, unida por su extremo inferior al vaso de densidad por un tubo de goma. Lleno todo el aparato de un líquido cualquiera que no tenga acción sobre los materiales hidráulicos, como el alcohol absoluto, la esencia de trementina ó el aceite de parafina, se hace ascender ó descender el vaso hasta que el líquido corresponda en su nivel á la línea de referencia y se anota la división á que ha llegado en la bureta. Hecho esto se introducen algunos gramos de la materia (10, por ejemplo) cuya densidad se busca en el vaso, y en virtud de su volumen el líquido ascenderá en las dos ramas. Moviendo el vaso se hace que el nivel coincida con la línea de referencia otra vez y se anota asimismo la división á que llegue en la bureta, y restándola de la anotada anteriormente, se tendrá el volumen de la materia introducida. Como se conoce su peso, dividiendo éste por aquél se obtendrá la densidad.

La determinación del peso volumétrico, si han de ser comparables los resultados que se obtengan en todos los ensayos, exige que se haga en condiciones completamente iguales siempre, tanto en lo que se refiere al volumen pesado, cuanto al grado de compresión que tenga y á la finura de su polvo. Todas las experiencias hechas, que son muy fáciles de comprobar, demuestran que dicho peso varía enormemente, según que el resíduo que deja al tamizar cualquier producto hidráulico por la tela de seda, sea mayor ó menor. Un cemento, por ejemplo, cuyo peso por litro es de 1125 gramos, cuando en dicho tamiz de seda no deja más que el 27 por 100 de resíduo, llega á 1290 gramos cuando aquél resíduo es de 44 por 100, y á 1510 cuando es del 65 por 100. De aquí se deduce, pues, que nada puede decidirse en favor ó en contra de un material al compararlo con los demás reconocidamente buenos, si á la vez que se da el peso del litro no se especifica el grado del molido de su polvo.

Tampoco puede prescindirse de que la compresión que se verifica por el propio peso del material sea siempre en el mismo grado, puesto que, como ya antes lo hemos dicho, el peso ha de variar. En Alemania

se suele seguir el sistema de buscar dicho peso en el máximo de compresión, para lo cual, á la medida en que se vierte se le están dando constantes sacudidas, bien mecánicamente ó bien por un sencillo aparato automático. En Francia, por el contrario, se empieza por revolver con una espátula el polvo para que esté bien suelto, y se evita con cuidado el menor movimiento de la medida para que no haga asiento el material y no se produzca otra compresión que la indispensable de su peso propio.

Cualquiera de los dos sistemas que se emplee da el mismo resultado si las operaciones se hacen siempre de igual manera y valiéndose de los mismos aparatos. Los adoptados en principio por el Congreso tenido en Berlin en Septiembre de 1890, son el representado en la figura 7, cuya

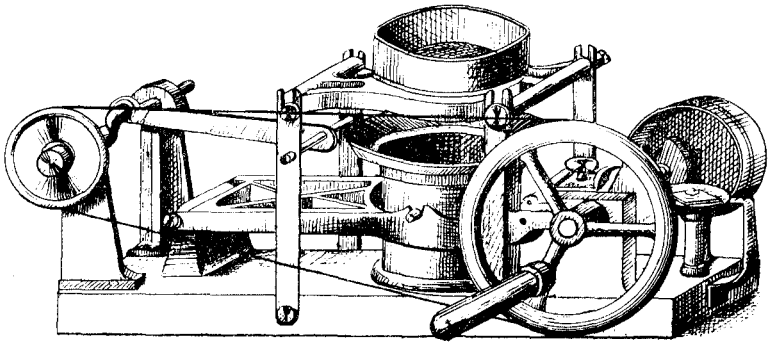


Fig. 7.

descripción haremos luego al tratar de la finura del polvo, ó utilizando un vaso de cristal de la capacidad exacta de un litro, préviamente tarado, dentro del que se va echando sucesivamente el polvo, valiéndose de un plano inclinado á 45°, que hace que el polvo resbale por él sin más altura de caída que la del vaso, que es sólo de 10 centímetros.

Con este último aparato la compresión es la misma; con el primero puede ser la que se quiera, indicada por el contador, que dice en cualquier momento cuál es el número de sacudidas.

Las variaciones que en el peso volumétrico acusa la mayor ó menor finura del molido, explican, sobre todo en el cemento, que es para el que este ensayo tiene más importancia, por qué antes se consideraba como

una prueba de bondad el mayor peso, que se supone indicaba mejor cocción del producto. Es, en efecto, sabido que cuanto más cocida esté una caliza más difícil es su pulverización; así es que en los cementos Portland de buena calidad, en que la temperatura haya sido la conveniente, el resíduo que queda en los tamices de 5000 mallas es, por la mala trituración, en proporciones elevadas, y el peso volumétrico alto; por el contrario, en aquellos productos en que la cocción haya sido deficiente, la pulverización es fácil, el resíduo pequeño y el peso volumétrico menor. Hoy las circunstancias han variado, pues á la finura del molido se le da positiva importancia, y la comparación se hace á igualdad de finura, lo que evita errores que pueden ser lamentables, y puede asegurarse que sin grandes diferencias, que provienen sólo de la aproximación de las moléculas, el peso específico, y por lo tanto el volumétrico en iguales condiciones de ensayo, no varía porque las rocas estén más ó ménos cocidas.

Las experiencias hechas por Mres. Leblanc y Hervé Manjon parecen demostrar, en contraposición de las que ejecutó Mr. Grant, que hay alguna relación entre la densidad de los productos hidráulicos y sus resistencias; pero como quiera que no se ha comprobado por otros autores, creemos más bien, de acuerdo con los más, que hoy por hoy no debe admitirse la densidad como signo de resistencia definitiva del material.

III.—Finura del polvo.

La finura á que por el molido y tamizado se llega en los productos hidráulicos, se determina muy sencillamente por medio de tamices, por los que se pasan ordinariamente 100 gramos de la materia que se quiere ensayar pesando luego el resíduo. Los números de las telas metálicas que se emplean generalmente, son de los números 50, 80 y 200, correspondientes á 324, 900 y 5.000 mallas por centímetro cuadrado, si bien en algunos casos y para muy minuciosos análisis se emplea el tamiz de seda, que da el polvo impalpable.

El profesor suizo Hr. Tetmajer ha ideado el aparato representado en la figura 7, que permite hacer el tamizado á través de las diversas telas indicadas á la vez, y que el polvo caiga en el litro colocado debajo. Compónese de un vaso de metal con los tamices normales, al que se le

da un ligero movimiento de trepidación con auxilio de un volante movido á mano, que á voluntad mueve tanbién el vaso-litro inferior. Un contador, que se ve en la figura, marca el número de sacudidas que sufre el tamiz, y determina, como antes hemos dicho, las que se imprimen al recipiente inferior para la compresión del polvo y á los tamices.

El grado de finura obtenido en el molido de los productos hidráulicos es importante, mirado desde dos puntos de vista, de los cuales el primero es de menos entidad que el segundo. Consiste aquél en que cuanto más fino sea el polvo que se emplee, el fraguado es más rápido, puesto que está demostrado que los resíduos que quedan en el tamiz de 900 mallas son inertes, y, por consiguiente, á mayor proporción de materia activa mayor efecto en las reacciones del fraguado, facilitadas además por la mayor división de la materia. En cuanto al otro punto de vista, ó sea el de la resistencia ulterior, las experiencias de Mr. Michaëlis no dejan lugar á duda sobre las ventajas que reporta el mejor molido. Consistieron aquellas en hacer pasar cementos varios por tamices cada vez más finos y en confeccionar después con el polvo de cada uno de ellos, correspondientes al mismo cemento, distintos cuerpos de ensayo de morteros, aumentando la proporción de la arena empleada á medida que el polvo era más fino; empezando por agregar al cemento, tal y como lo expende el comercio, cinco partes de arena, y aumentando este material en una y media y en dos unidades más por cada tamiz porque pasaba el cemento. Las resistencias que acusaron los aparatos para las cuatro clases de morteros hechos con cada cemento, fueron casi las mismas, á pesar de que el cuarto tenía más del doble de arena que el primero.

IV.—**Duración del fraguado y sus condiciones.**

Según las prescripciones de las conferencias de Dresde y de Munich, los materiales hidráulicos deben calificarse como de fraguado rápido, medio ó lento, según que el fenómeno del endurecimiento comience antes de los quince minutos de haberlo amasado, entre los quince y los sesenta minutos, ó después de una hora; pero esto, que dicho así parece sencillísimo, al llevarlo á la práctica y hacer las experiencias consiguientes, ofrece dudas y hasta se hace complejo por las circunstan-

cias que se deben tener en cuenta para la uniformidad en los ensayos. La temperatura, cantidad y calidad del agua que se emplee en el amasado, hacen variar notablemente el tiempo que tarda en empezar el fraguado y el de su duración; las sales que pueda contener en disolución aquel líquido, modifican también el fenómeno, y la manera misma de efectuar la experiencia influye en el resultado obtenido.

Por lo que al agua se refiere hay que empezar por determinar lo que se ha convenido en llamar agua normal del material que se ensaya, llamando así á la cantidad de agua que es necesaria para que la masa adquiera una consistencia determinada y la misma para todas las experiencias. Hasta hace algún tiempo, este dato prévio se adquiría por tanteos amasando una porción de material, con más ó ménos agua, hasta obtener una pasta ligada, que dejándola caer de alguna altura sobre una superficie pulida, no se deformaba mucho por ser demasiado blanda, ni se descomponía por falta de humedad, operación que, teniéndose que apreciar por la vista, no podía hacerse siempre del mismo modo y con la exactitud requerida. Modernamente, la aguja de Vicat, conocida de antiguo para la determinación del fraguado, se emplea con una ligera modificación propuesta por Tetmajer para el mismo objeto de determinar el agua normal.

Dicho aparato, representado en la figura 8, se compone de una varilla metálica que puede descender verticalmente entre dos collares, con peso exacto de 300 gramos, en cuya parte inferior puede adaptarse un cilindro de 1 centímetro de diámetro ó una aguja de 1 milímetro cuadrado de sección, á voluntad. A la varilla va unido un índice que recorre una escala graduada que permite ver la altura á que desciende.

Debajo de la aguja ó del cilindro, según los casos, se coloca una placa de cristal y encima un molde circular de 8 centímetros de diámetro y 4 de altura, de cautchouc endurecido, donde se coloca la pasta que se debe ensayar. En el modelo completo de Tetmajer, que es el que hemos dibujado, todas las piezas anteriormente dichas se fijan á un soporte vertical, que en el lado opuesto sostiene un termómetro de máxima, dividido en décimas de grado, debajo del que se coloca otro molde en un todo igual al que hemos dicho acompaña á la aguja.

Para la determinación del agua normal se comienza por amasar, con

ayuda de una paleta, 400 gramos del material, con la cantidad de agua que se juzgue prudente y que la práctica enseña á aproximarse á la que debe ser, durante tres minutos para los productos de fraguado lento, y un minuto para los de fraguado rápido, y con la pasta obtenida se llena el molde de cautchouc alisando la superficie, no sin haber colocado antes el cilindro de 1 centímetro de diámetro, que se apoya acto seguido

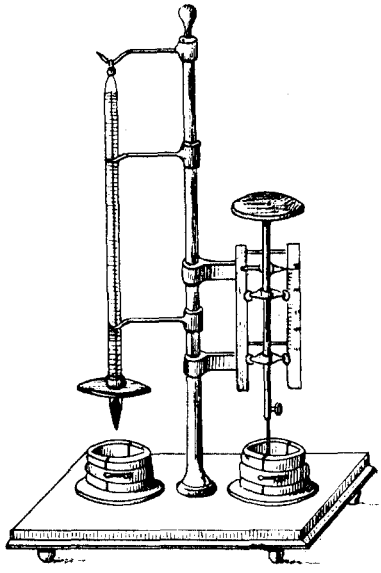


Fig. 8.

sobre la superficie del molde. La aguja, por su propio peso, empezará á descender introduciéndose en la masa, y si en un período de cinco minutos no llega al fondo, entonces puede aceptarse como normal la cantidad de agua empleada; pero si en dicho tiempo atraviesa completamente la masa ó queda muy por encima de la superficie inferior, lo cual lo indica el índice que recorre la escala, el agua que se ha empleado en el amasado es excesiva ó deficiente.

La temperatura á que el agua se encuentre al amasar el material, es condición precisa sea la misma para todos los ensayos de comparación. El fraguado de un mismo material se acelera con las temperaturas altas, iguales todas las demás condiciones, y se retrasa con temperaturas bajas,

admitiéndose como temperatura normal la de 15° centígrados, que conviene sea siempre la del agua que se emplee, debiendo, en caso contrario, acompañar á los resultados de las experiencias la noticia del grado de temperatura á que se hizo, si no se pudo adoptar la normal.

Con respecto á la composición del agua, si bien es cierto que lo que más convendría sería el empleo del agua destilada, la influencia que sobre el fraguado tienen la pequeña cantidad de sales que llevan disueltas las aguas de ríos, manantiales, y en general todas las potables, es tan pequeña, que se pueden tomar los resultados con una ú otras como sensiblemente iguales, y cualquiera que sea la que tenga á mano entre aquellas es perfectamente aprovechable.

No sucede lo mismo con el agua del mar, la cual, por las proporciones de sulfato de magnesia y de cloruro magnésico que contiene, modifica el fraguado retardándolo; así es que cuando se establecen condiciones de recepción, si los ensayos deben hacerse con agua del mar, porque con igual elemento han de ejecutarse las obras, debe tenerse en cuenta el efecto que se produce y preverlo oportunamente.

Conocida, como hemos expuesto, el agua normal correspondiente á un material en ensayo, se procede al ensayo de su fraguado, valiéndose del aparato mismo de Hr. Tetmajer provisto de la aguja de 1 milímetro cuadrado de sección. Para ello se llena el molde de pasta hecha en igual cantidad y con iguales condiciones que las expresadas antes y se deja apoyar la aguja sobre la superficie. Se considera que el fenómeno del fraguado comienza cuando por su propio peso no atraviesa la aguja los 4 centímetros de altura que tiene la masa, y se da por terminado, cuando la misma aguja no produce depresión apreciable sobre la superficie del mortero. El intervalo de tiempo que transcurre de uno á otro efecto, es lo que constituye la duración del fraguado.

Cuando en los materiales hidráulicos existe cal grasa cáustica, al hidratarse por el amasado produce elevación de temperatura y con ella otros efectos de descomposición perjudiciales. El termómetro que acompaña al aparato acusa este fenómeno con sólo introducir su cubeta en el otro molde que tiene colocado debajo y que debe llenarse á la vez que se llena el de la aguja.

Todas las consecuencias que se deben sacar de los resultados del fra-

guado, deben referirse, más que á nada, á la aplicación del material en las obras que según sus condiciones exigirán un fraguado determinado ó desecharán en absoluto el que sea rápido unas veces ó el que sea lento otras: por lo demás, ninguna condición de bondad puede deducirse en lo que al cemento en sí puede referirse. En otro tiempo se suponía que cuando los cementos estaban perfectamente cocidos, el fraguado era necesariamente lento, y así sucede en efecto, como ya en su lugar lo hemos dicho; pero entonces la lentitud que resultaba en los ensayos no provenía de esa causa, sino más bien, y generalmente, de lo mal pulverizado que estaba el producto, y la materia inerte que contenía retrasaba el fenómeno, como lo retrasa cuando se agrega al material puro la arena para formar los morteros.

V.—**Invariabilidad del volumen.**

Con objeto de asegurarse de que el mortero hecho con cemento solo ó con cemento y arena conserva un volumen invariable al endurecerse, en Alemania, en Suiza y en Francia se sigue un procedimiento sencillo, que consiste en preparar una cierta cantidad de pasta con el material puro y el agua normal correspondiente, y hacer con ellas, sobre pequeñas placas de vidrio, antes que frague, varias galletas de unos 10 centímetros de diámetro por 2 de grueso en su centro y muy delgadas en los bordes. Cuando el fraguado ha tenido lugar, se sumergen la mitad de estas galletas en agua durante un período de lo menos 28 días, y se dejan las demás expuestas al aire. Ni unas ni otras deben presentar grietas ni señales de descomposición, que de existir, demostrarían la existencia de cal cáustica en exceso, sin estar bien distribuída sobre toda la masa. Este fenómeno suele iniciarse por elevaciones parciales de la superficie de las galletas, continuando por pequeñas disgregaciones, análogamente á lo que sucede en los blanqueos con cal, tan usados en nuestras provincias meridionales, por efecto de hacerlos con la cal mal apagada.

El ingeniero inglés Mr. Henry Faija, ha propuesto un método de ensayo, que se ha generalizado por completo en su país, y que consiste en la preparación de una torta del producto hidráulico, empleando la menor cantidad de agua posible. Esta torta, colocada también sobre una

placa de vidrio, se expone por espacio de seis horas en un medio húmedo á la temperatura de 100° F., y al cabo de aquel tiempo se la sumerge en un baño de agua á 114° F., del que se saca transcurridas que sean doce á dieciocho horas, en cuyo período se manifiestan los efectos que se producen, por el método ordinario, según hemos podido observar por nosotros mismos, acelerándose considerablemente el fraguado del cemento y desarrollándose rápidamente las alteraciones del volumen.

El profesor Tetmajer emplea, entre otros, para el ensayo de la inalterabilidad de los productos hidráulicos, lo que él llama la prueba de torrefacción, valiéndose para ello del aparato ó estufa (fig. 9), modificación del mo-

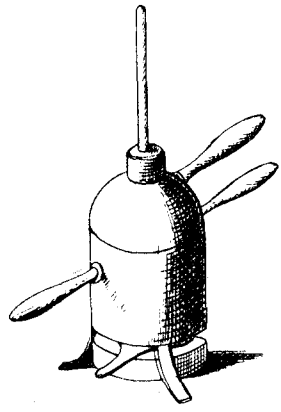


Fig. 9.

delo Reicenbach, que no es otra cosa que un cilindro de cobre de 14 centímetros de diámetro, con tapa semiesférica, y de 22 centímetros de altura, provisto de un termómetro y un tubo de seguridad, y en cuyo interior hay una serie de rejillas que divide la altura total en compartimentos. Las galletas de ensayo, colocadas en planchas de hierro, en vez de que sean de vidrio, se colocan sobre aquéllas rejillas y se cubren con la tapa semiesférica, después de haber llenado de agua el fondo del aparato hasta una altura de 2 milímetros. La temperatura interior se eleva por medio de un mechero de gas ó una lámpara de alcohol, hasta 120° centígrados, que sólo se consigue alcanzar después de haberse evaporado el agua del fondo y la mayor parte de la que conservan las galletas. El tiempo que dura la operación depende del número de galletas con que se opera á la vez, pero varía entre tres y seis horas, al cabo de las que, si

aquellas galletas no presentan deformaciones ni grietas, y dan, en cambio, un sonido claro al golpearlas y una dureza y cohesión convenientes, puede aceptarse como invariable de volumen el producto ensayado.

Las deformaciones de las galletas, principalmente en los cementos Portland y de escorias, demuestran, según las experiencias repetidas del referido profesor, defectos provinientes de la alteración del volumen, y es muy general que aquellas deformaciones estén acompañadas de grietas radiales y periféricas.

El profesor Bauschinger ha ideado un aparato que llama *compás de calibres*, con el que se determinan las alteraciones que sufren en su longitud unos prismas de cemento, por las que fácilmente se deducen las que á su volumen corresponden.

Este aparato (fig. 10) acusa las referidas deformaciones en ménos de

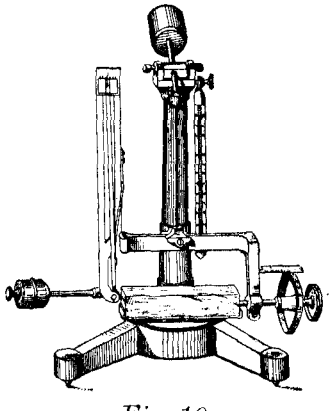


Fig. 10.

$^1/_{200}$ de milímetro y está constituído por una garra con dos brazos, de los cuales el derecho lleva un tornillo micrométrico y el izquierdo lo forma una palanca muy sensible, cuya parte inferior ejerce presión en sentido contrario á la que hace el tornillo micrométrico por la acción que le transmite á la superior un muelle que se ve en la figura. Todo el sistema pende de un cuchillo en igual forma que una balanza.

El avance del tornillo micrométrico se mide por medio de una escala situada encima del limbo graduado, cuyas divisiones corresponden al paso de la rosca, que es de medio milímetro, el cual se fracciona en décimas y centésimas por medio del referido limbo.

El cuerpo de ensayo, que es un paralelepípedo de 100 milímetros de longitud por 5 centímetros cuadrados de sección transversal, y que lleva en sus cabezas dos placas de vidrio que se le unen cuando se moldea, se coloca entre la palanca sensible y el tornillo micrométrico, de manera que descanse sobre una pequeña plataforma que sostiene todo el aparato. En las planchas de vidrio se abren préviamente dos pequeñas hendiduras con un buril, cada una de las que deben corresponder con las puntas de acero unidas á las garras. Una vez colocado el cuerpo de ensayo, se aprieta el tornillo micrométrico hasta que una aguja, unida al eje de la palanca, corresponda al cero de la división que va grabada en el extremo superior de aquella, en cuyo caso queda el aparato dispuesto para operar.

La longitud del cuerpo de prueba se obtiene exactamente por el aparato mismo, porque siendo la distancia entre las puntas de los brazos de la garra de 95 milímetros, si en la escala del brazo fijo, después de movido el tornillo micrométrico para la operación anterior, se observa que ha habido que sacar aquel tornillo 9 divisiones ó pasos y 56 fracciones acusadas por el limbo, resultará que la longitud total absoluta del cuerpo de prueba será $95 + \frac{9,56}{2} = 99,78$ milímetros.

Al cabo de algún tiempo de estar el cuerpo de prueba en el aparato, si ha habido dilatación lo acusará la aguja unida al eje fijo de la palanca, que se habrá movido hácia la izquierda, y obligándole á que vuelva á su posición de cero por medio del tornillo micrométrico, éste en su movimiento dará el aumento de longitud que ha tenido el paralelípedo. Su proporcionalidad con relación á la longitud dará el aumento de volúmen.

Los cuerpos de prueba deben fabricarse en moldes preparados á propósito, de igual manera que se fabrican los que sirven para los ensayos de tracción y compresión.

VI.—**Ensayos de resistencia á la tracción y compresión.**

Hasta hace poco tiempo, los ensayos á la tracción han sido á los que más importancia se ha dado en todos los países cuando de los materia-

les hidráulicos se ha tratado. En Alemania y en Suiza se empezó á considerar que si bien aquellas resistencias son muy dignas de tenerse en cuenta, no lo son ménos las resistencias á la compresión, y tal vez lo sean más, pues por compresión es como los materiales resisten puestos en obra, consideración que ha hecho que muy modernamente se generalice el estudio de dichas últimas resistencias.

Para los ensayos á la tracción se han ido dando sucesivamente varias formas á los cuerpos, que sirven para ejecutarlos, obedeciendo todas á la idea de que presenten una sección de mínima resistencia para poder determinar el esfuerzo de rotura hecho por centímetro cuadrado. Las primeras formas acusaban una sección de 16 centímetros cuadrados, pero multitud de experiencias hechas para determinar cuál es la sección más conveniente, concluyeron por demostrar que la de 5 centímetros cuadrados parece ser la que más ventajas ofrece, y esta es la que ya hoy se emplea en todas partes. El molde para confeccionarlos deja un hueco en forma de 8, según se vé en la parte izquierda de la figura 12, con cabida exacta de 70 centímetros cúbicos, y una sección rectangular de menor resistencia de 22,40 por 22,36 milímetros.

Para confeccionar los cuerpos de ensayo con los productos hidráulicos puros, puesto que en esta Memoria no tratamos para nada de los morteros, se toman unos 700 gramos del material y se le mezcla con el agua normal correspondiente hasta formar la pasta también normal, según las indicaciones anteriores, que se pone en cinco moldes préviamente engrasados convenientemente para que no se adhiera la masa y dispuestos sobre una plancha de vidrio grueso. Una vez llenos los cinco moldes, con exceso, se golpea la pasta para que tome exactamente la forma de aquellos, y cuando comienza á presentarse el agua sobre su superficie superior, se alisa ésta con la paleta. En algunos casos se nota que quedan en el interior burbujas de aire que conviene hacer desaparecer, lo que se consigue fácilmente con sólo dar á la placa de vidrio algunas ligeras sacudidas, alisando de nuevo las dos superficies, superior é inferior, pero sin agregar materia nueva alguna.

Toda esta operación debe ejecutarse lo más rápidamente posible para que esté terminada antes de que comience el fraguado, de manera que si por la experiencia se demuestra que no es posible con algunos mate-

riales operar con cinco moldes á la vez, debe hacerse con dos ó tres solamente, según la rapidez del fraguado.

La frabricación á mano de los cuerpos de ensayo tiene el inconveniente de la falta de homogeneidad que puede resultar entre unos y otros cuerpos, por la diferencia de compresión que se hace sufrir á la masa por los golpes que se le da para moldearla y por el alisamiento final de sus caras. Este inconveniente se ha tratado de evitar por medio de aparatos automáticos variados, de los cuales el más generalizado es el que se representa en la figura 11, que consiste en un pilón de 3 kilógramos de peso, que cae de una altura de 50 centímetros y automáticamente por medio de una sencillísima combinación de engranajes, y un fiador, da 120 golpes sobre el molde, que se coloca en una caja debajo de la vertical que recorre el pilón.

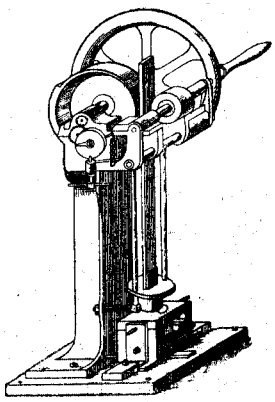


Fig. 11.

Fabricados los cuerpos de ensayo de una ú otra manera, se les saca de los moldes en cuanto han fraguado y se les deja expuestos al aire húmedo durante veinticuatro horas, pasadas las cuales se les sumerge en agua dulce ó del mar, según los casos, cuidando de que la temperatura sea de 15° á 18° centígrados, y renovando el agua cada ocho ó diez días. Los ensayos de resistencia á la tracción suelen hacerse en plazos fijos de siete y veintiocho días, tres y seis meses, uno, dos y tres años, y así sucesivamente.

El aparato que para ello se emplea más generalmente es el de Mi-

chaëlis, que á su sencillez y exactitud reune la buena propiedad de su fácil manejo. Apóyase todo él sobre un soporte macizo (fig. 12), al que

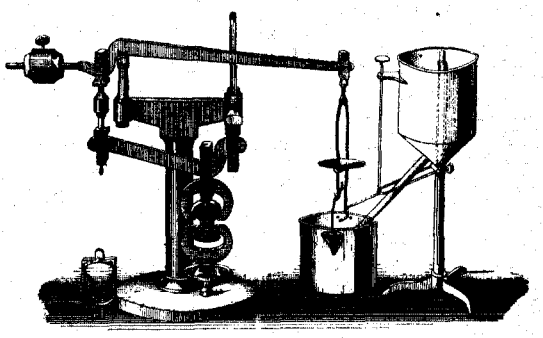


Fig. 12.

se hallan unidos por un juego de cuchillos dos palancas enlazadas, cuyas relaciones es de 1 á 10 para la superior y de 1 á 5 para la inferior, de la que pende la superior de las dos garras que han de coger el cuerpo de ensayo en la prueba de su resistencia. La garra inferior está unida á la placa general de sustentación del aparato por medio de un tornillo que se mueve por un pequeño volante, lo que permite alejarla ó aproximarla á la superior, según lo exija la operación. Ambas garras están dispuestas de modo que la aplicación de la fuerza de tracción tenga lugar en cuatro puntos del cuerpo de ensayo.

La palanca superior lleva en su brazo menor un contrapeso móvil para establecer el equilibrio de todo el sistema. Conseguido esto, se halla el aparato en disposición de funcionar, y esto lo verifica del modo siguiente:

Aproximadas que sean las dos garras lo suficiente para que entre ellas pueda cogerse el cuerpo que se va á ensayar, cuidando de que se hallen todas sus aristas horizontales y que estén ambas en el mismo plano, se coloca aquel cuerpo, que debe quedar bien sujeto entre las referidas garras.

Pendiente del extremo de la palanca mayor y superior se cuelga una vasija, que ha de ser el receptáculo del peso que origine la rotura, y que de ordinario es un bote de latón ú hojadelata. El peso, á su vez, lo constituyen perdigones colocados en un recipiente con vertedero, en la forma que se ve en la derecha de la misma figura 12, y cuyo vertedero

se cierra automáticamente al caer el asa del receptor del peso sobre una palanqueta unida á la tapa de dicho vertedero. Como la caída del receptáculo del peso y la rotura del cuerpo de prueba son simultáneas, el cierre del vertedero coincide también con el momento en que aquellos efectos se producen y no permite que salga ni un perdigón más de los necesarios para producir el efecto deseado.

Una vez verificada la rotura se desmonta el cubo de perdigones y se pesa continente y contenido en una balanza, y como quiera que la relación de palancas, según hemos dicho, es de 1 á 10 y de 1 á 5 y en junto de 1 á 50, habría que multiplicar el peso obtenido por 50 para hallar el esfuerzo hecho sobre toda la superficie de 5 centímetros cuadrados, ó por 10 solamente para encontrar el que corresponde por la unidad centímetro cuadrado.

Si no se quiere hacer uso de una balanza adicional para pesar el cubo de los perdigones, puede aprovecharse el aparato mismo para averiguar el esfuerzo de rotura, colgando el cubo de perdigones en el gancho que se halla en la parte inferior del tirante que une las dos palancas, y se busca el equilibrio por medio de pesas colocadas en el platillo que lleva la suspensión ordinaria de aquel cubo, y por la relación de brazos de palanca se deduce el que corresponde al total esfuerzo.

Para los ensayos de resistencias á la compresión se emplean cubos, cuyas caras tienen 50 centímetros cuadrados de superficie, que se fabrican en moldes, análogamente á como se hacen los cuerpos destinados á los ensayos de tracción, es decir, que se pueden hacer á mano y mecánicamente. Cuando se sigue el primer método hay que irlos moldeando por capas, pues si se echase de una vez en el molde toda la masa necesaria para llenar los 72 milímetros de altura que ha de tener el cubo, se correría el riesgo de que la homogeneidad en la masa sería ilusoria, porque las capas inferiores quedarían muy poco compactas con relación á las superiores. En este caso es aún más necesario el empleo de una máquina análoga á la de la figura 11, antes descrita, con la que no hay más diferencia que en la disposición de las piezas donde se coloca el molde y en que el pilón, también de 3 kilógramos, cae desde una altura de 1 metro y da automáticamente 150 golpes en vez de los 120 que da la de los cuerpos de tracción.

Para determinar la resistencia á la compresión son varios los aparatos que están en uso, habiéndose generalizado mucho uno de palancas, análogo al de Michaëlis, el de Mr. Le Chatelier, y las prensas hidráulicas más ó ménos perfeccionadas.

Entre éstas es digna de mención, por la exactitud de sus indicaciones y por sus múltiples aplicaciones para los materiales distintos de los productos hidráulicos, la de J. Amsler Lafon, representada en vista y sección en las figuras 13 y 14.

Su organización está reducida á un sencillo sistema de émbolos que

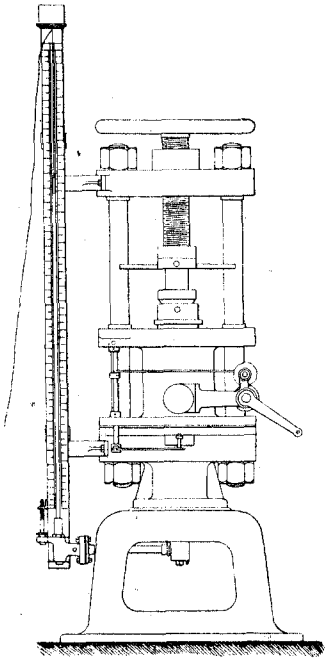


Fig. 13.

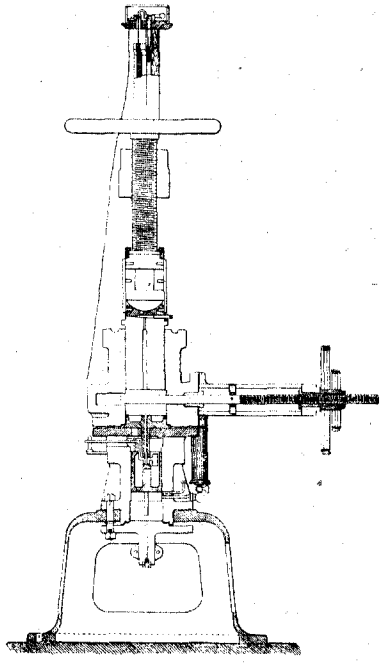


Fig. 14.

reducen la presión interior, de modo que pueda compararse á la presión de una columna de mercurio, de altura conveniente, constituyendo el émbolo principal el que se vé en la figura 14, inmediatamente debajo del cubo de ensayo y los dos de reducción, los que se ven en la parte inferior de la misma figura, moviéndose el último de éstos por una feliz combinación dentro de un cilindro que está en comunicación con el manómetro de mercurio que se vé en la figura 13.

El cubo de ensayo se coloca entre las dos placas que se ven en las figuras, de las cuales la inferior está colocada sobre un casquete esférico que se adapta sobre un espacio hueco, de igual forma, abierto en la parte superior del émbolo principal, lo que permite que se adapte sobre la superficie inferior del cubo, aunque éste no tenga todas sus caras en perfecto ángulo recto. La placa superior está unida á un tornillo que, con auxilio de un volante, puede subir ó bajar para apoyarse sobre el cuerpo que se haya de ensayar.

En el cilindro central, donde se aloja el émbolo principal, entra una varilla que se ve en la figura 14, la cual avanza ó retrocede con auxilio de una manivela y varios engranajes; si tiene lugar lo primero, el referido émbolo asciende impelido por el aceite de ricino de que está lleno el cilindro, y los de reducción descienden, obligando á elevarse el mercurio en la columna manométrica: el primero ejerce la presión sobre el cuerpo de ensayo; los segundos la ponen de manifiesto en el manómetro, bien sea en su escala general ó de presión total, bien en una segunda escala calculada para que dé la presión por centímetro cuadrado cuando los cubos de ensayo sean de las dimensiones reglamentarias de 50 centímetros cuadrados en sus caras.

VII.—**Ensayos de adherencia.**

El poder de adherencia que un material puede tener con respecto á otro es de positiva importancia en ciertas construcciones que no es necesario detallar, y bien se comprende que todo lo que tienda á determinarlo ha de presentar utilidad en aquellos casos. Al querer efectuar ensayos de esta naturaleza, surgió la idea de recurrir á la unión en cruz de dos fragmentos cortados en placas de los materiales entre los que se había de colocar el mortero; pero las experiencias que así se verificaron dieron los más contradictorios resultados, sobre todo cuando se operaba con materiales poco permeables y de mucha compacidad, pues entonces se observaba casi siempre que el mortero se desprendía en mayor ó menor grado, cuando ménos, de uno de los dos trozos entre que se colocaba, porque no absorbiendo éstos el agua que aquél llevaba en sí, formaba una capa aisladora que cortaba el contacto. Hubo que desechar, pues,

este procedimiento, y se recurrió al de aplicar el mortero sobre un solo cuerpo, que de todos modos no debe ser muy impermeable.

Tratándose de experimentos puramente empíricos, sin que concurran circunstancias accesorias, es natural que deben proscribirse cuerpos de adherencia capaces, por su parte, de formar con las cales morteros puzolánicos; así es que deben desecharse en principio las arcillas cocidas y aun el vidrio, siendo los mejores los de piedras areniscas, el mármol y, en general, las rocas calizas duras y tenaces. Sea cualquiera de éstas la que se adopte, hay que empezar por labrarlas perfectamente, dejando en la superficie sobre que se ha de adherir el material hidráulico, las asperezas naturales que se recomiendan para su colocación en obra.

La forma que se da al cuerpo sobre que se va á operar, es la de un prisma cuadrangular de pequeña altura, el cual se coloca en el fondo de un molde á propósito para que el conjunto de aquél y del mortero resulte con la que tiene el cuerpo de ensayo, que se ve en la figura 15. La

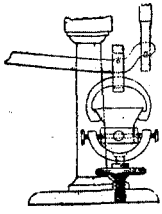


Fig. 15.

fabricación de éste bien se ve que es sencilla y se sigue para conseguirla en lo relativo al material hidráulico el procedimiento de amasado mismo que se emplea para obtener los cuerpos destinados á los ensayos anteriores, metiéndolos igualmente, después de fraguados, en agua, y experimentando las resistencias en los períodos convenientes.

El aparato que se emplea para los ensayos propiamente dichos, es el mismo de Michaëlis, antes descrito para los de tracción, sin más que sustituir las garras propias por otras un poco mayores, y con la disposición que detalla la misma figura 15, en las que la inferior tiene dos tornillos que sujetan el material sobre que se estudia la adherencia, y la superior coge por sus planos inclinados el hidráulico que constituye el

mortero. El resto de la operación es enteramente idéntico al segundo en los ensayos de tracción, teniendo sólo en cuenta la sección de rotura.

El doctor Michaëlis suele emplear en vez de piedras, cuerpos hechos con mortero de cemento Portland, convenientemente preparados por él, con los que ha obtenido resultados que por lo satisfactorios recomienda como dignos de imitación.

VIII.—**Ensayos sobre la permeabilidad.**

Sabido es que suele haber una completa confusión entre la porosidad y la permeabilidad de los morteros de cales hidráulicas y cementos. Mrs. Durand Claye y Debray, en una nota publicada el año 1888, pusieron de manifiesto, de una manera que no da lugar á duda, la diferencia que existe entre una y otra propiedad. Dicen aquellos señores, con mucha razón, que la porosidad es la facultad que tienen los morteros que han fraguado en el aire de absorber una cierta cantidad de agua cuando se los sumerge en recipientes llenos de agua y se los deja allí un tiempo suficiente para que se verifique la absorción, mientras que la permeabilidad es la facultad que pueden tener los mismos morteros cuando, sometidos por solo una de las caras del cuerpo que forman á la acción de una carga de agua, dejan pasar cierta cantidad de este líquido á través de su masa; y así como es muy fácil determinar el índice de porosidad, puesto que no hay más que pesar el cuerpo antes y después de sumergido, y buscar por la diferencia de pesos la cantidad de agua absorbida y relacionarla con el volumen, se hace difícil determinar la permeabilidad, sobre todo cuando se hacen experiencias con morteros sacados de mamposterías, porque es casi imposible elegir muchos bloques de morteros en condiciones iguales con relación á las cargas de agua para obtener resultados comparables.

Sin entrar en los detalles de los estudios hechos por tan reputados ingenieros sobre morteros sacados de mamposterías descompuestas, daremos una idea de los métodos que han seguido para sus ensayos de filtración con probetas confeccionadas en el laboratorio, por más que esta clase de trabajos se puede decir que están en su principio.

Empezaron por hacer roldanas tronco-cónicas de morteros de 4 centímetros de altura y 5 de diámetro en su base mayor y 45 milímetros en la menor, ajustando á ellas alargaderas de vidrio, según lo representa la figura 16, por medio de una envuelta general de cemento puro, lle-

Fig. 16.

nando después aquellas alargaderas con agua pura ó con disoluciones determinadas, según las experiencias que se querían hacer.

Los resultados que así se obtienen no son muy satisfactorios y no conviene aplicar el método cuando se quiere experimentar con alguna exactitud.

Otro método que ofrece mayores garantías de éxito consiste en suprimir la envolvente de cemento, que, como se comprende, está sometida también á las influencias mismas que el cuerpo que se ensaya, y buscar que la roldana de éste se halle dentro de los tubos de vidrio sin interposición de ninguna sustancia extraña. Para esto se toman trozos de tubo de vidrio fuertes, de 3 ó 4 centímetros de diámetro y 12 ó 14 de altura, los que se llenan en cierta altura de su parte inferior con cemento ó mortero de la manera siguiente. Se toman cilindros de metal de 8 centímetros de diámetro y altura variables, según los casos, y se llenan con la pasta comprimida del material que ha de ensayarse, introduciendo después por rotación dentro de la masa los referidos tubos de vidrio; el cemento se eleva en el tubo á una altura un poco menor que la que tiene en el cilindro, formando una roldana, que si se quiere que sea de altura igual á la que tiene el material en el cilindro, basta dar dos ó tres golpes con un mazo sobre el tubo mismo.

Al cabo de algunos días el cemento se adhiere suficientemente al vi-

drio para que pueda soportar una carga de agua de un metro de altura por medio del aparato que representa la figura 17, que como se vé no es

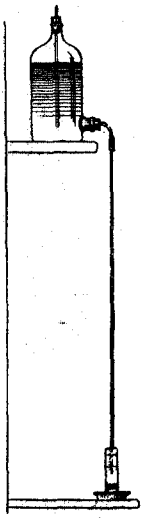


Fig. 17.

más que un frasco de Mariotte unido al tubo que contiene la roldana por otro de vidrio que pasa á través de un tapón de goma que no permite salga el agua por la unión. De este modo los cuerpos de ensayo quedan expuestos á la presión que resulta de la altura del agua, y que por el frasco mismo puede medirse lo que baja el nivel y deducirse el líquido que pasa á través de la roldana en un tiempo determinado.

Este método tiene el inconveniente de ser muchos los tubos que se rompen, por efecto sin duda de una especie de aumento de volúmen, y no permite tampoco experimentar más que compresiones relativamente pequeñas.

En Alemania está muy en uso el empleo de cilindros de cemento de muy poca altura, hechos dentro de moldes de metal que luego se someten á la presión del agua por medio de una bomba que lo inyecta en la parte inferior de un aparato de la forma de la figura 18. Entre las piezas que en ésta se ven se colocan los cilindros entre placas de caoutchouc, y una vez llena de agua la probeta, graduada, de cristal que lleva la pieza superior hasta la división cero, se halla en disposición

de funcionar. Un manómetro indica la presión del agua inyectada y la que pasa á través del cuerpo de ensayo se manifiesta en la referida probeta. Conocida como es la superficie del cilindro, un decímetro cuadrado,

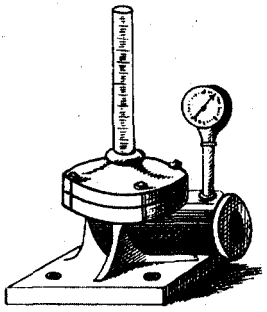


Fig. 18.

puede deducirse la permeabilidad por unidad para la presión acusada por el manómetro.

IX.—**Otros ensayos.**

No queremos entrar por ahora en otra clase de ensayos, porque algunos de ellos, como los que se refieren á la flexión de prismas hechos con materiales hidráulicos, no los consideramos de aplicación bastante ni de utilidad desde el punto de vista del empleo de aquellos en la construcción, y otros, aunque de muchísima importancia en el porvenir, como son los del agua caliente, están atravesando un período de estudio en que todo hasta ahora son conjeturas más ó ménos fundadas, pero sobre lo que falta mucho para decir la última palabra. Es cierto que igual cosa pasa en lo que se refiere á las teorías de solidificación; pero de éstas no podíamos dejar de dar una idea, con lo que algún juicio se puede formar, sin que se echase de ménos tan importantísima materia, y lo que hubiéramos podido decir sobre aquellos, dentro de muy poco tiempo, seguramente, podremos dar noticia de muchos trabajos que hoy se hacen y que facilitarán elementos nuevos é interesantes, ó corroborarán, desarrollándolos, los conocimientos que ahora se tienen.

FIN.

ÍNDICE.

Página.

CAPÍTULO V.

FABRICACIÓN DE LOS CEMENTOS DE FRAGUADO RÁPIDO.

CAPÍTULO VI.

FABRICACIÓN DE LOS CEMENTOS PORTLAND NATURALES Y DE LOS CEMENTOS MIXTOS.

CAPÍTULO VII.

FABRICACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND ARTIFICIAL.

CAPÍTULO VIII.

FABRICACIÓN DE LOS CEMENTOS DE ESCORIAS.

CAPÍTULO IX.

TEORÍAS SOBRE LA SOLIDIFICACIÓN DE LOS PRODUCTOS HIDRÁULICOS.

Página.

CAPÍTULO X.

ANÁLISIS DE LOS PRODUCTOS HIDRÁULICOS Y DE LAS PRIMERAS MATERIAS QUE ENTRAN EN SU FABRICACIÓN.

CAPÍTULO XI.

ENSAYO DE LOS MATERIALES HIDRÁULICOS.

ERRATA.

Página.	Linea.	Dice.	Debe decir.
22	29	Cementos Portland naturales.	Cementos Portland artificiales.